

**Estudios Alimenticios y de ADN de Dientes Humanos  
Valle del Río Verde Inferior, Oaxaca, México**

**Marzo 2009**

**Informe Final Entregado al Consejo de Arqueología  
Y el Centro INAH Oaxaca  
del Instituto Nacional de Antropología e Historia**

**Arthur A. Joyce (editor)  
Department of Anthropology  
University of Colorado at Boulder  
233 UCB, Hale Science 350  
Boulder, CO 80309-0233  
USA**

**Con contribuciones hechas por:**

**Arthur A. Joyce<sup>1</sup>  
Sarah R. Taylor<sup>2</sup>  
Arion Mayes<sup>3</sup>  
Matt Sponheimer<sup>1</sup>  
John Spotts<sup>3</sup>  
Sarah B. Barber<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Anthropology, University of Colorado at Boulder, 233 UCB, Hale Science Bldg. 350, Boulder, Colorado, 80309-0233 EUA

<sup>2</sup>Department of Anthropology, Northwestern University, 1810 Hinman Avenue, Evanston, Illinois, 60208 EUA

<sup>3</sup>Department of Anthropology, San Diego State University, 5500 Campanile Dr., San Diego, California, 92182-6040 EUA

<sup>4</sup>Department of Anthropology, University of Central Florida, 4000 Central Florida Blvd., CSB 201, Orlando, Florida, 32816-1997 EUA

## **Capítulo 1 Introducción**

**Arthur A. Joyce**

Este reporte presenta los resultados de los estudios alimenticios y de ADN hechos en dientes humanos provenientes de los entierros del Valle del Río Verde inferior, Oaxaca, México. La investigación fue llevada a cabo en Oaxaca durante el verano del 2006 en laboratorios de los Estados Unidos y de Gran Bretaña en 2008 y 2009. Los entierros examinados fueron excavados de los sitios de Barra Quebrada, Cerro de la Cruz, Río Viejo, y Yugüe y muestras fueron tomadas en la ubicación presente de las instalaciones del Centro INAH Oaxaca en el ex-convento de Cuilapan con el permiso del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). La información colectada para este estudio abarca desde el período Formativo Tardío (400-150 a.C.) hasta el período Posclásico Temprano (d.C. 800-1100) e incluye información alimenticia de las fases Minizundo, Miniyua, Chacahua, Coyuche, y Yugüe (Figura 1).

Previas investigaciones alimenticias en la región han estudiado los componentes de proteína marinos y terrestres usando análisis de oligoelementos (Joyce, 1991a). Aquí, dos nuevas líneas de evidencia son usadas: análisis de micro-desgaste dental e isótopos estables. En general, los resultados de ambos métodos sugieren un incremento en el consumo de maíz con el paso del tiempo. Aunque los resultados complementan previas investigaciones alimenticias en el Valle del Río Verde inferior, información adicional es necesaria para confirmar y refinar los resultados de este estudio.

El estudio de ADN está diseñado para poner a prueba la viabilidad de los análisis genéticos hechos en los restos excavados anteriormente en esta región. Si las muestras son consideradas factibles, el ADN será usado para examinar las relaciones biológicas entre los individuos enterrados en los sitios de Cerro de la Cruz, Yugüe, y Río Viejo. Los estudios genéticos en los que se usa el ADN antiguo son otra línea de investigación relacionada a estudios arqueológicos y bioarqueológicos en un esfuerzo para dilucidar la historia biológica y cultural de los habitantes del Valle del Río Verde inferior. Los resultados preliminares han fallado en encontrar ADN que sea factible, pero muestras adicionales serán investigadas.

## **Capítulo 2**

### **Dieta y Agricultura en el Valle del Río Verde Inferior**

#### **Basado en Análisis de Micro-desgaste Dental e Isótopos Estables**

**Sarah R. Taylor**  
**Arthur A. Joyce**  
**Matt Sponheimer**  
**Sarah B. Barber**

#### **Introducción**

El propósito de este proyecto fue examinar los patrones alimenticios en el valle inferior del Río Verde de Oaxaca, México, desde el período Formativo Tardío hasta el período Posclásico Temprano (400 a.C. hasta d.C. 1100) y relacionar tales patrones con cuestiones de producción agrícola y complejidad social de la región. Investigaciones interdisciplinarias previas a lo largo del valle del Río Verde se han enfocado en los efectos sociales y ecológicos causados por los cambios antropogénicos en el paisaje (e.g. Joyce, 1991a; Joyce, 1991b; Joyce, 2005; Joyce y Mueller, 1992; Joyce y Mueller, 1997; Joyce et al., 1998). En particular, los investigadores han discutido que la erosión causada por la expansión agrícola durante el período Formativo Temprano (1800-800 a.C.) en las tierras altas de Oaxaca provocó grandes cambios geomórficos en la parte inferior del Río Verde y que estos cambios tuvieron, ambos efectos, positivos y negativos en los habitantes residiendo allí. Los sedimentos erosionados en las tierras altas fueron transportados cuesta abajo en el sistema de drenaje provocando un incremento en las inundaciones y depósitos aluviales a lo largo de la planicie de inundación del Río Verde inferior. Las investigaciones geomorfológicas muestran que ya para el período Formativo Tardío (400-150 a.C.) estos cambios en la hidrología habían causado un cambio en la forma y posición del río, había causado la expansión del área de producción agrícola de la planicie de inundación. Además, ha sido sugerido, aunque aún no definitivamente o directamente mostrado, que estos cambios geomórficos, como el aumento en la aluviación y expansión de la zona de producción agrícola en la planicie de inundación, contribuyeron, por lo menos en parte, a un incremento en la población así como un incremento en la complejidad social lo cual ocurrió durante el Formativo Tardío/Terminal (400 a.C.-d.C. 250; Joyce et al., 1998). Los sedimentos transportados cuesta abajo del Río Verde también fueron descargados en el Océano Pacífico contribuyendo a la formación de bahías litorales la cuales cerraron el paso creando una serie de islas de barrera y sus estuarios litorales asociados (Goman et al., 2005).

Joyce y sus colegas (Goman et al., 2005; Joyce, 1991a; Joyce, 1991b; Joyce y Mueller, 1997; Joyce et al., 1998) han discutido que tales cambios en el paisaje de la cuenca de drenaje del Río Verde inferior ha de haber causado un aumento en ambos el potencial agrícola y en los recursos estuarinos disponibles en el área, haciendo más atractivo el asentamiento en la región. En estudios preliminares alimenticios usando análisis de oligoelementos usando proporciones de bario/estroncio y niveles de cinc, por ejemplo, Joyce (1991a:136-138) encontró que las poblaciones que vivían en el valle inferior eran mayormente agrícolas y explotaban recursos marinos y estuarinos sólo como base de suplemento. Los patrones de asentamiento estudiados en el valle del Río Verde inferior muestran que la región estaba escasamente poblada hasta la fase Charco del Formativo Medio (700-400 a.C.) con la población creciendo rápidamente para el

Formativo Tardío (Joyce, 2005). El valle inferior continuó siendo un gran centro demográfico hasta la Conquista Española en el 1522. Los cambios causados por la erosión en las tierras altas también han de haber creado riesgos para los habitantes del valle inferior, en la forma de inundaciones más repentinas y violentas. La construcción de masivas plataformas residenciales y de multi-uso (incluyendo ambas arquitecturas residenciales y públicas) las cuales elevaban las superficies de viviendas por encima de la planicie de inundación empezando desde la fase Miniyua del Formativo Terminal (150 a.C.-d.C. 100) puede que haya sido en respuesta al incremento en las inundaciones. Por consiguiente, el previo trabajo ha demostrado un lado muy dinámico de la ecología prehistórica en la cuenca de drenaje del Río Verde inferior, marcado por relaciones de causa y efecto antropogénico entre las regiones de las tierras altas y las tierras bajas de Oaxaca. Cualquier investigación que aún no ha sido demostrada, no obstante, es un vínculo más preciso entre las poblaciones humanas y el aumento en la producción agrícola que se cree empezó al principio del período Formativo Tardío. El foco de este estudio, por lo tanto, fue el establecer un vínculo más directo entre las poblaciones humanas y los cambios antropogénicos en el paisaje *a través de un análisis de la dieta*. Estudios previos han mostrado, por ejemplo, que la intensificación de la siembra del maíz, y por tanto un aumento en el consumo del maíz (una planta isotópicamente distinta), pueden ser trazados por medio de la composición isotópica de los dientes de los habitantes prehistóricos (e.g. Vogel y van der Merwe, 1977).

Para este estudio, dos métodos fueron usados para analizar los patrones alimenticios: un análisis de la textura del micro-desgaste dental y un análisis de isótopo estable. Estos métodos revelan facetas muy diferentes de los patrones alimenticios de uno. Cuando se come, la textura de las comidas y los procesos biomecánicos de masticar causan marcas distintivas (e.g. picaduras, arañazos) las cuales son hechas en el esmalte dental. Por tanto, el micro-desgaste dental puede ser descrito como una ventana por donde se pueden ver las propiedades de textura y mecánicas de las últimas comidas consumidas por un individuo. El análisis de micro-desgaste dental es un método de micro-desgaste relativamente nuevo, que usa una combinación de microscopía confocal y análisis de escala-sensible frágil para caracterizar el decaimiento microscópico dental como resultado del uso (Scott et al., 2006; Scott et al., 2005). Este enfoque tiene dos ventajas sobre las técnicas de micro-desgaste previas. Primero, el análisis de textura de micro-desgaste modela el diente en tres dimensiones en vez de dos, y segundo, también reconoce que el desgaste sobre la superficie dental puede variar de acuerdo a la escala de observación. Investigadores han usado el análisis de textura de micro-desgaste dental para caracterizar la dieta de fósiles de homínidos (El-Zaatari, 2007; Scott et al., 2005), otros fósiles primates (Scott et al., 2009), primates existentes (Krueger et al., 2008; Scott et al., 2006), y humanos anatómicamente modernos (El-Zaatari, 2008; Krueger y Ungar, en revista). Estos estudios han sido exitosos detectando diferencias dietéticas significativas, ambas entre y dentro de taxonomías. Ninguna técnica de micro-desgaste dental, sin embargo, nos puede decir precisamente cuales eran los alimentos consumidos o si estos eran o no eran consumidos sobre un largo período de tiempo.

El análisis de isótopo estable de carbono de material óseo, por el otro lado, si tiene el potencial de caracterizar la alimentación a largo plazo de un individuo (e.g. temporadas y hasta años; Sponheimer y Lee-Thorp, 1999). Recientemente, los análisis isotópicos se han convertido extremadamente populares en los estudios arqueológicos y son usados no solo para caracterizar patrones alimenticios sino también patrones de migración. Estos estudios empezaron con preguntas concernientes a la aparición de la siembra del maíz en las Américas (e.g. Vogel y van der Merwe, 1977, van der Merwe y Vogel, 1978). La introducción de la siembra del maíz en

Norte América cambió dramáticamente las proporciones del isótopo de carbono en el colágeno de los huesos humanos en formas medibles y cuantitativas, demostrando que los análisis de isótopo podrían fuertemente complementar las interpretaciones botánicas, arqueológicas, y otras evidencias alimenticias. Las firmas isotópicas que resultan del consumo de maíz son por lo tanto bien estudiadas, aunque no siempre bien comprendidas. Esto es porque el análisis de isótopo estable de carbono también tiene sus limitaciones: como el micro-desgaste, no nos puede decir qué, exactamente, se comió, sino que en vez solo describe la composición isotópica de lo que se comió, y muchos alimentos pueden poseer la misma firma isotópica. En resumen, el micro-desgaste dental caracteriza las propiedades de textura y mecánica de las últimas pocas comidas consumidas; los isótopos estables de carbono caracterizan la composición isotópica de alimentos consumidos durante meses o años. Usando ambos de estos estudios, esperamos tomar ventaja de sus fortalezas y al mismo tiempo superar sus limitaciones.

La información de micro-desgaste y de isótopo presentada aquí, recolectada de un total de 61 individuos, fue usada para poner a prueba la hipótesis de que un incremento en el consumo del maíz (y, por lo tanto, su producción) ocurrió desde el período Formativo Tardío hasta el período del Posclásico Temprano (400 a.C. a d.C. 1100) seguido el cambio en los regimenes de deposición en el valle inferior. Este proyecto apoya otras líneas de evidencia de estudios geológicos, paleobotánicos, arqueozoológicos, y arqueológicos los cuales han demostrado previamente unos vínculos entre el crecimiento de las poblaciones y la expansión agrícola en el valle inferior del Río Verde (e.g. Joyce y Mueller, 1992, 1997; Joyce et al., 1998). Finalmente, este estudio complementa previas investigaciones alimenticias conducidas por Joyce (1991a).

## **Métodos**

### *Muestra del Estudio*

Las excavaciones en la parte inferior del valle del Río Verde sobre los últimos 20 años han recuperado aproximadamente 200 entierros cubriendo un espacio de tiempo desde el período Formativo hasta el Posclásico. Los restos humanos preservados están almacenados en la instalación de laboratorio (Centro bodega) en el ex-convento de Cuilapan y son administrados por el Centro INAH Oaxaca en la Ciudad de Oaxaca. Para este estudio, en Julio del 2006 se tomaron muestras de los entierros con dentaduras adecuadas (molares tercero, segundo, y primero, bien preservados) los cuales estaban fechados desde el período Formativo Tardío hasta el período Posclásico. En donde fue posible, ambas muestras para micro-desgaste e isótopo estable fueron tomadas de un mismo individuo, resultando en un total de 67 individuos representados en el material recolectado entre el micro-desgaste inicial (N=38) e isótopo estable (N=60). Sin embargo, a causa de la preservación y calidad de los especimenes, durante análisis preliminares estos número fueron reducidos a 61 muestras de individuos entre el micro-desgaste (N=22) y el isótopo estable (N=59). La Tabla 1 provee una lista final del material de micro-desgaste dental e isótopo estable, organizada por sitio y número de espécimen lo cual forma la base de este reporte.

### *Recolección de Datos y Análisis: Micro-desgaste*

El análisis de textura de micro-desgaste dental, a diferencia de otros métodos de micro-desgaste anteriores, utiliza un análisis de escala sensible fractil. Este tipo de análisis sigue los principios de geometría fractil, la cual reconoce que las apariencias de las superficies se

diferencian dependiendo en la escala de observación. Los procedimientos usados en este estudio fueron desarrollados por Robert Scott, Peter Ungar, y colegas; estos son descritos en mucho más detalle en otra parte (Scott et al., 2006; Scott et al., 2005). En este estudio cinco variables fueron consideradas para el análisis: complejidad de la superficie, escala de mayor complejidad, anisotropía, heterogeneidad, y volumen de la textura de relleno. *La complejidad de la superficie* se caracteriza por cambios en el área relativa con la escala de medida, de manera tal que superficies más complejas contienen elementos de micro-desgaste de diferentes tamaños, superpuestos unos sobre los otros. La complejidad del área-escala fractil ( $Asfc$ ) es igual a la pendiente de la parte más empinada de la curva encajada en el diagrama de log-log del área relativa sobre la línea de escalas multiplicada por -1000. *Escala de máxima complejidad* ( $Smc$ ) es la escala en la que la superficie es más compleja. *Anisotropía* es la medida de direccionalidad del desgaste de la superficie; superficies dominadas por arañazos paralelos tienden a ser más anisotrópicas. Largo-escala del relieve de anisotropía ( $epLsar$ ) es una medida relativa de la anisotropía de una superficie dada. *Heterogeneidad* del área-escala de complejidad fractil ( $HAsfc$ ), calculada dividiendo la absoluta desviación media de  $Asfc$  entre el medio de  $Asfc$ , provee una medida de la textura a través de la superficie. Y finalmente, el volumen de la textura de relleno caracteriza el volumen de una superficie rellenándola con prismas cuboideos en diferentes escalas. Mientras más se reduce la escala, más cubos caben dentro de la superficie, llenando por tanto un mayor volumen.

Para la porción de micro-desgaste de este estudio, réplicas de resina epóxica de alta resolución fueron moldeadas de los molares durante el verano del 2008 por Sarah R. Taylor. Dos juegos de réplicas fueron hechos: uno que permanecerá en la Universidad de Colorado en Boulder y el otro que será regresado junto con los especímenes originales y los moldes, como parte de la colección del INAH. Los especímenes primero fueron cuidadosamente limpiados con copos de algodón mojados con acetona. Después de la limpieza, los moldes dentales fueron creados usando polisiloxano de vinilo ("President Jet Regular", Coltene/Whaledent Corp), un material para hacer impresiones dentales el cual no es dañino. Los moldes fueron entonces hechos usando un polímero de resina epóxica de alta resolución ("Epotek 501", Epoxy Technologies). Esta técnica ha demostrado producir réplicas estables que consistentemente y fiablemente reproduce elementos del espécimen original a una resolución de una fracción de una micra (Teaford y Oyen, 1989). Las superficies originales de los dientes no se distinguen de sus moldes en el aumento máximo usado por investigadores de micro-desgaste.

De los 38 entierros originalmente muestreados para este estudio, sólo 33 se encontraron ser de suficiente calidad para la réplica y el análisis. Los moldes fueron escaneados por Sarah R. Taylor usando un Sensofar Plu Confocal Imaging Profiler (Solarius Development Inc.) en el laboratorio de microscopía de la Universidad de Arkansas en Fayetteville durante Junio del 2008. Bajo aumento (10x) fue usado primero para examinar superficies completas y para identificar y eliminar especímenes con daños posmortem causados por mala preservación. Siguiendo el procedimiento subrayado en Scott et al. (2005, 2006), las facetas de triturar y moler de especímenes bien preservados fueron escaneadas con un aumento de 100x con un intervalo de muestreo lateral de  $0.18 \mu\text{m}$  y una resolución vertical de  $0.005 \mu\text{m}$ . A este aumento, cada escán incluyó un área de  $138 \times 102 \mu\text{m}$ . Cuatro escaneos adyacentes fueron recolectados por cada individuo, resultando en un área total de  $276 \times 204 \mu\text{m}$  por espécimen. El programa Solarmap Universal (Solarius Development Inc.) fue usado para generar foto-simulaciones e imágenes 3D las cuales, aunque no eran necesarias para el análisis, proveen una representación visual de los datos escaneados. Finalmente, medidas fueron tomadas de los escaneos de los dientes y estas

fueron analizadas en Toothfrax and SFrax (Surfact, www.surfract.com). Los resultados de la información para Asfc, Smc, epLsar, HAsfc, y Tfv han sido catalogados en el Apéndice I.

Para análisis estadísticos, cuatro escaneos adyacentes tomados de un solo molar fueron usados para representar cada individuo. Diferencias en la complejidad de la superficie, escala de máxima complejidad, anisotropía, heterogeneidad, y el relleno de volumen de textura entre las fases fueron evaluadas con el propósito de probar la hipótesis de que hubo un incremento en el consumo de maíz a través del tiempo. Lo que se supone es que el maíz cocinado y procesado es una sustancia relativamente no abrasiva, y por lo tanto uno esperaría ver que, mientras el maíz reemplazaba otros alimentos en la dieta, las superficies dentales son entonces caracterizadas por elementos más pequeños y menos complejos. Los datos para todas las fases fueron más allá examinados para ver si había una posible relación entre los patrones de micro-desgaste y el género y estatus de los individuos. Los datos de este estudio fueron comparados con los datos publicados para los grupos humanos modernos (El-Zaatari, 2008).

### *Recolección de Datos y Análisis: Isótopos Estables*

Los estudios de isótopo de carbono se han hecho ampliamente populares en los años recientes y han sido aplicados a numerosas poblaciones arqueológicas (e.g. Schwarcz y White, 2004; van der Merwe et al., 1981; van der Merwe y Vogel, 1978; White, 1993). Isótopos de carbono son todas aquellas formas del mismo elemento químico de carbono pero que poseen diferentes pesos atómicos. El descubrimiento de isótopos estables de carbono y como han venido a ser usados en arqueología es descrito por van der Merwe (van der Merwe, 1982). Isótopos de carbono, los cuales fueron primero descubiertos y descritos en los finales del 1940, son separados (fraccionados) en formas características durante la fotosíntesis en las plantas, haciendo posible la identificación de tres tipos de fotosíntesis (o pasajes fotosintéticos): C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, y CAM (corto para “metabolismo ácido de las Crassulaceae”). Los valores de isótopos de carbono usualmente son reportados usando la notación delta (como lo es  $\delta^{13}\text{C}$ ) relativo a los estándares reconocidos internacionalmente, y son expresados en partes por mil o por mil (‰). El trabajo pionero de Vogel y van der Merwe (1977) mostró que isótopos estables de carbono pueden ser usados para evaluar la importancia del maíz en las dietas prehistóricas del Nuevo Mundo ya que el maíz, a diferencia de muchas siembras de semillas principales es una planta de C<sub>4</sub>-pasaje. Plantas C<sub>4</sub>, las cuales incluyen algunos tipos de amaranto, caña de azúcar, quenopodio, y maíz producen un relativo alto valor de isótopo estable de carbono. Plantas C<sub>3</sub>, las cuales incluyen la mayoría de plantas florales, árboles y arbustos, y pasto de zonas templadas, producen relativamente bajas cantidades. Plantas CAM también producen un alto valor de isótopo de carbono estable, pero la mayoría de plantas CAM son suculentas (e.g. cactus) y típicamente no son comestibles (o se cree por general) en cantidades que sean bastante como para importar.

Para la porción de isótopos estables de este estudio, una pequeña muestra de esmalte dental (3-5 mg) fue tomada de cada espécimen por Sarah R. Taylor durante el verano del 2006. El esmalte fue perforado desde varios puntos en una muela permanente primera, segunda, o tercera usando un taladro rotativo equipado con una broca con punta de diamante. Durante la primavera del 2008, las muestras resultantes fueron pre-tratadas por Taylor en una solución 1.5% de hipocloruro de sodio para remover contaminantes orgánicos, 0.1 M de ácido acético para remover los altamente solubles (alto contenido de carbonato) componentes minerales, y al final se dejaron secar al aire libre. El material pre-tratado restante fue usado para conducir un análisis de isótopo de carbono: en el laboratorio de geoquímica de la Universidad de Bradford, Inglaterra, las muestras fueron colocadas por un técnico de laboratorio en recipientes de reacción

individuales para ver la reacción con ácido fosfórico a 70°C en un aparato de auto-carbono Kiel II y CO<sub>2</sub> fue obtenido vía destilación criogénica (Lee-Thorp et al., 1997; Sponheimer, 1999). El CO<sub>2</sub> resultante fue entonces introducido en un espectrómetro de masas Finnigan MAT 252 para así medir la composición isotópica. Esta técnica es estandarizada y produce resultados fiables que pueden ser duplicados dentro de un 0.2‰; los detalles de este procedimiento son subrayados de forma más completa en otra parte (Lee-Thorp et al., 1997).

De las 60 muestras de esmalte recolectadas para este estudio, solo una se descubrió estar contaminada y fue, por lo tanto, eliminada para los análisis subsiguientes. Las 59 restantes fueron analizadas y comparadas por su contenido de isótopos de carbono. Ya que las muestras fueron tomadas primeramente del esmalte de muelas segundas y terceras, los resultados reflejan la composición isotópica de alimentos consumidos durante el desarrollo de coronas molares. En seres humanos, el desarrollo de coronas para M2 y M3 típicamente empieza a los 4 ½ años y se completa a la edad de 13 (Smith, 1991). Aunque los análisis de isótopos de carbono pueden ser conducidos en otros tejidos óseos (e.g. colágeno óseo, cabello), el esmalte dental fue elegido porque es el material más duro y más durable en el cuerpo humano. Como tal, el esmalte es menos susceptible a los efectos de diagénesis (la absorción de minerales en el suelo circundante después de ser enterrados). Los datos crudos de isótopos han sido catalogados en el Apéndice II.

Una vez más, para análisis estadísticos, una muestra de esmalte de una sola muela fue usada para representar cada individuo. Las diferencias en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  fueron evaluadas entre fases con el propósito de poner a prueba la hipótesis de que la proporción del maíz en la dieta aumentó con el paso del tiempo (e.g. Vogel y van der Merwe, 1977). Ya que el maíz es una planta C<sub>4</sub>, uno esperaría que la cantidad relativa de <sup>13</sup>C aumentara a través de las fases. Estos datos también fueron examinados más allá para determinar la posible relación entre la composición isotópica y el género y estatus de los individuos. Los resultados para ambos análisis, isótopo de carbono estable y textura de micro-desgaste, son descritos debajo.

## Resultados

### *Micro-desgaste*

Por lo general, diferencias significativas no fueron encontradas entre las variables (Asfc, Smc, epLsar, Tfv, HASfc) cuando estas fueron analizadas por cualquiera de las fases (Tabla 2) o por sitio. Sólo una medida reveló una posible tendencia en los datos: el promedio de la complejidad de la superficie (Asfc) parece disminuir a través de las fases (Figura 1), sugiriendo que las superficies dentales en los períodos de tiempo posteriores experimentaron un decaimiento menos severo. Tal resultado concuerda con lo esperado, dada la suposición de que el maíz cocido y procesado es un alimento relativamente no-abrasivo (pero ver la discusión debajo). Debido a la pobre distribución de muestras (con más de la mitad perteneciendo a la fase Minizundo, Figura 2), no obstante, esta tendencia no es significativa en los datos (Spearman's rho, R=-.354, P=0.11). Estudios adicionales son necesarios para poder investigar a más profundidad la potencial disminución en la complejidad de la superficie a través del tiempo. Ninguna diferencia significativa fue encontrada entre los géneros masculino y femenino o entre los grupos de alto/bajo estatus.

Figuras 3 y 4 comparan los datos de este estudio con aquellos recolectados para otros humanos anatómicamente modernos (El-Zaatari, 2008). Los resultados para Asfc y Smc son mostrados en figuras porque muestran las diferencias más marcadas entre las muestras de



Oaxaca y otros grupos. Comparado con la mayoría de los cazadores-recolectores pre-agricultores analizados por El-Zaatari (2008), la muestra de Oaxaca muestra una relativamente baja complejidad en la superficie (Asfc) y una relativamente alta escala de máxima complejidad (Smc). La muestra de Oaxaca es por lo tanto compuesta de superficies dentales menos complejas que sus más complejas a una más baja resolución. Tomados todos juntos, estos resultados indican una dieta relativamente suave la cual contuvo unas pocas partículas abrasivas pequeñas (El-Zaatari, 2008). Diferente a la muestra Fuegian, la cual es más similar a la muestra de Oaxaca con respecto a la complejidad de ambas superficies y la máxima escala de complejidad de la superficie, la muestra de Oaxaca no muestra el mismo grado de anisotropía. La evidencia etnohistórica y arqueológica sugiere que los Fuegians se sustentaban primeramente con animales marinos. Los productos de carne, mientras no son particularmente ásperos, son duros y se esperaría que estos dejarían estrías en las superficies dentales durante la masticación (El-Zaatari, 2008). Este patrón no fue encontrado en la muestra de Oaxaca. Por tanto, dos dietas supuestamente muy diferentes (basada en maíz y basada en carne) pueden resultar en niveles similares de complejidad en la superficie, pero las medidas de anisotropía pueden revelar información adicional importante acerca de la textura de los alimentos.

Mientras que la muestra de Oaxaca está incompleta, ésta sin embargo, por lo general concuerda con la hipótesis de que hubo un aumento en el consumo del maíz con el paso del tiempo. Una vista comparativa de los datos entre otros grupos humanos modernos sugiere aún más que el análisis de textura de micro-desgaste es capaz de detectar diferencias sutiles en las firmas alimenticias que aparentan, superficialmente, ser similares. Sin embargo, las diferencias en almacenamiento, preparación, y técnicas de cocina entre los grupos modernos pueden complicar las interpretaciones de los datos de micro-desgaste. Investigaciones adicionales en los patrones de textura de micro-desgaste en humanos modernos—especialmente patrones entre grupos agrícolas—son necesarias para poder asistir con la interpretación de estos resultados.

### *Isótopos*

El análisis de los valores de la varianza de esmalte  $\delta^{13}\text{C}$  reveló diferencias fuertemente significativas entre las fases ( $P < 0.0001$ ; Tabla 3). La prueba de Fisher PLSD muestra que la fase Yugüe ( $-2.6 \pm 1.8\text{‰}$ ) resalta como diferente ( $P < 0.01$ ) a las fases Minizundo ( $-5.7 \pm 1.2\text{‰}$ ), Miniyua ( $-5.6 \pm 2.4\text{‰}$ ), Chacahua ( $-4.1 \pm 1.2\text{‰}$ ), y Coyuche ( $-6.2 \pm 1.4\text{‰}$ ). Las muestras de las fases Minizundo y Chacahua, las cuales son las muestras más grandes, también son significativamente diferentes ( $P < 0.001$ ), indicando un aumento en el consumo de plantas  $\text{C}_4$  desde el período Formativo Tardío hasta el Formativo Terminal. Los valores de la fase Yugüe  $\delta^{13}\text{C}$  son excepcionales en el hecho de que son similares a aquellos observados en el pastoreo (consumo de pasto) de ungulados Africanos (Sponheimer et al., 2003). De hecho, por lo que sabemos estos están entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos que jamás han sido observados en primates, sugiriendo el consumo de aún más plantas  $\text{C}_4$  (en este caso el maíz) de lo que típicamente es consumido por el especialista en pasto, el babuino *Theropithecus* (Lee-Thorp et al., 1989). Valores similares también han sido reportados para individuos Maya, de manera más notable aquellos del Iximche Posclásico, los cuales son altamente enriquecidos en  $^{13}\text{C}$  comparados con todas las demás muestras Maya (Tykot, 2002). En resume, los individuos de la fase Yugüe seguían un adieta dominada por maíz (más o menos un 75%).

Dado el extremo valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de Yugüe, no es sorprendente que también haya una tendencia general hacia valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos a través del tiempo (Spearman's rho,  $R^2 = 0.40$ ; Figura 5). Solo los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de Coyuche son contrarios a esta tendencia. Las

razones para esto no son claras en este momento y bien puede que se relacione al pequeño tamaño de la muestra ( $n = 4$ , Figura 6). Si el material de Coyuche es excluido del análisis el  $R^2$  mejora a 0.94. A pesar de esta tendencia hacia valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos, debe notarse que todas las fases tienen valores de  $\delta^{13}\text{C}$  concordantes con un significativo consumo de maíz. Por ejemplo, sitios Maya Preclásicos contienen valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de apatita ósea de  $-9.5\%$  (Tykot, 2002), los cuales concuerdan con las dietas dominadas por vegetación  $\text{C}_3$  con algunas pequeñas plantas  $\text{C}_4$  o consumo de alimentos marinos. Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de Minizundo, en contraste, están relativamente enriquecidos en  $^{13}\text{C}$  por casi un 4%, lo cual concuerda con una dieta de 40 a 50% de  $\text{C}_4$ , aunque este número puede que sea algo más bajo si cantidades significativas de recursos marinos fueron consumidas.

Es difícil en estos momentos evaluar las diferencias intra-poblacional en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . A través de las fases no hay diferencias significativas entre géneros masculino y femenino. Pero hay, no obstante, indicaciones de la posibilidad de que hayan existido diferencias alimenticias en ciertos lugares/períodos de tiempo. Por ejemplo, cinco individuos de género femenino de la fase Chacahua ( $-3.4 \pm 0.2\%$ ) tienen valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos que cinco individuos masculinos de la fase Chacahua ( $-4.4 \pm 1.2\%$ ), aunque la diferencia acarrea muy poco significado ( $t$ -test;  $P=0.07$ ). Por el momento, simplemente no tenemos bastantes muestras para evaluar la hipótesis acerca de la dieta y el estatus social.

Cuando los resultados de micro-desgaste dental e isótopos se juntan, no se encuentra una relación reveladora entre anisotropía, heterogeneidad, o volumen de relleno de textura. La relación entre la complejidad de la superficie (Asfc) y valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , se acercan a algún significado ( $P=0.07$ ), sin embargo, y escalas de máxima complejidad (Smc) y valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se correlacionan de manera significativa (Spearman's rho,  $P<0.01$ ).

## Discusión

### *Micro-desgaste*

El pequeño tamaño de la muestra, combinado con la pobre distribución a través de las fases, presenta un problema para la interpretación de los datos de micro-desgaste. Aunque los promedios trazados (Figura 1) sugieren una tendencia hacia la disminución de complejidad de las superficies con el paso del tiempo, las diferencias en Asfc entre las fases no son estadísticamente significativas. Sin embargo, la relativamente baja complejidad de la superficie descubierta en esta muestra, cuando se considera de una manera más amplia con relación a los resultados encontrados en otros grupos humanos modernos (El-Zaatari, 2008), ofrece algún entendimiento en los patrones alimenticios de nuestro estudio de muestra. Hasta la fecha, solo un puñado de estudios han investigado los patrones de textura de micro-desgaste entre los humanos anatómicamente modernos (El-Zaatari, 2008; Krueger y Ungar, en revista; el último concierne a textura de micro-desgaste de incisivos y por los tanto no se le considera aquí), y los datos presentados aquí están entre los primeros en ser recolectados de una población agrícola.

La muestra de Oaxaca es más similar en promedios de Asfc y Smc a la muestra de Fuegian. Se piensa que la baja complejidad de la superficie vista entre los Fuegians concuerda con sus prácticas alimenticias: los Fuegians no secaban las carnes ni las almacenaban bajo tierra, procesos que por lo demás introduce elementos ásperos en la dieta (El-Zaatari, 2008). Además, la escala de máxima complejidad para la muestra Fuegian sugiere que las partículas que llegaron a penetrar la dieta eran relativamente grandes en su tamaño: esto se debe a que la escala de máxima complejidad esta vinculada a la escala de las partículas en la dieta causantes del desgaste

(Scott et al., 2006). Pequeños elementos de micro-desgaste causados por pequeñas partículas ásperas son detectados en medidas de fina-escala, mientras que elementos grandes, causados por partículas ásperas grandes, son detectados en escalas gruesas. Por consiguiente, el promedio de alta escala de máxima complejidad para las muestras Fuegian y de Oaxaca indica la ausencia de partículas ásperas pequeñas en la dieta.

Los resultados de ambas medidas, complejidad de la superficie y escala de máxima complejidad, concuerdan con nuestra hipótesis si suponemos que el maíz, cuando es procesado y cocido, es una sustancia relativamente no-abrasiva. Sin embargo, como es anotado arriba, partículas ásperas pueden ser introducidas en la dieta por medio de preparación y procesos de almacenamiento. Por ejemplo, un estudio ha demostrado que el uso de herramientas ígneas de grano-fino, produce menos asperezas durante la molienda del maíz que las herramientas de arenisca (Teaford y Lytle, 1996). No es sorprendente que la última se descubrió producir desgaste dental acelerado. Dependiendo en la naturaleza de las herramientas para moler, entonces, el proceso de la molienda puede introducir partículas ásperas de varios tamaños dentro de la comida de maíz. La evidencia arqueológica para esta área geográfica y período de tiempo en Oaxaca (Formativo Tardío a Posclásico Temprano) muestra que los pobladores molían el maíz con herramientas de granito. Como el granito es un tipo de piedra ígnea con una textura de mediana a gruesa, ha de esperarse que este haya de producir relativamente menos partículas ásperas durante la molienda. Esto parecería concordar con conclusiones presentadas aquí, pero sin evidencias de micro-desgaste adicionales provenientes de otros grupos agrícolas basados en maíz, la interpretación debe permanecer especulativa. Por hora, apoyo adicional debe venir de los datos de isótopos recolectados para este estudio.

Puestas juntas, las correlaciones entre la escala de máxima complejidad ( $S_{mc}$ ) y  $\delta^{13}C$  así como la casi significativa correlación entre complejidad de la superficie ( $A_{sf}$ ) y  $\delta^{13}C$  también dan apoyo a la interpretación de los datos de micro-desgaste como resultado en el aumento del maíz en la dieta. Por tanto, mientras no podemos decir con ninguna certeza que el maíz aumentó en la dieta con el paso del tiempo tan solo por el micro-desgaste, el patrón visto en los datos no es contradictorio a esta interpretación.

### *Isótopos*

En general, los resultados de isótopos estables indican un aumento en el consumo de plantas  $C_4$ , casi por seguro el maíz, desde la fase Minizundo del Formativo Tardío hasta la fase Yugüe del Posclásico Temprano. La presencia de valores más bajos de  $\delta^{13}C$  en las dos primeras fases y valores altos de  $\delta^{13}C$  en la fase Yugüe concuerda con la hipótesis de que la dieta posterior es relativamente alta en plantas  $C_4$ . La evidencia de un consumo de maíz significativamente bajo durante la fase Coyuche del Clásico Temprano es difícil de interpretar, aunque puede ser cuestión de una muestra de tamaño pequeño ya que sólo hubo 4 muestras de la fase Coyuche. Otra posibilidad proviene de la observación de que 3 de los 4 entierros de la fase Coyuche en el estudio de isótopos contienen evidencia de estatus sociales inusuales y/o papeles que pueden haber estado vinculados a diferencias alimenticias. Todos los cuatro entierros eran provenientes del sitio de Río Viejo (Joyce, 1991a:777-786). Uno de los entierros era un adulto masculino de alto estatus (B7-I7) enterrado con una ofrenda de 22 vasijas de cerámica, 11 cuentas de piedra verde, 2 orejeras hechas de concha, y una caracola. El entierro B16-I18 era un adulto masculino el cual exhibió modificaciones craneales y dentales, mientras que entierro B19-I21 era un adulto de género femenino con modificaciones dentales. Modificaciones craneales en Mesoamérica no parecen estar relacionadas con estatus y mientras algunos tipos de modificaciones dentales

pueden estar relacionados al estatus, otros no lo están (Geller, 2004:386-406). Las modestas ofrendas asociadas con los entierros de Río Viejo exhibiendo modificaciones corporales sugieren que mientras estos individuos no son de alto estatus, puede ser que éstos hayan tenido identidades especiales que pueden haber involucrado prácticas alimenticias atípicas.

Un potencial problema con la interpretación de altos (menos negativos) valores de  $\delta^{13}\text{C}$  es el consumo de alimentos marinos como peces marinos y de agua dulce, mariscos y mamíferos marinos que se sustentan de pescados (Schoeninger et al., 1983). Recursos marinos como estos pueden conducir a altos valores de isótopo de carbono en seres humanos igual que el consumo de plantas  $\text{C}_4$ . Estudios paleoambientales han mostrado que los cambios fluviales en el Río Verde durante el Formativo Temprano/Medio (i.e., aumento en la carga de sedimento debido a la erosión antropogénica en las tierras altas) también aceleraron la formación de islas de barrera y por eso los estuarios litorales (Goman et al. 2005). Por lo tanto nuestra evidencia de isótopo de carbono puede que esté rastreando un aumento en la dependencia de recursos marinos debido a la formación de estuarios y el aumento en los recursos marinos fácilmente accesibles.

Estudios preliminares de muestras de arqueofauna abarcando los períodos Formativo Medio y Clásico Temprano indican la explotación de peces y mariscos marinos, estuarinos y de agua dulce (Fernández, 2004). Aunque el predominio de especies estuarinas aumenta con relación a las de agua dulce en la muestra de fauna, los cambios generales en el uso de peces y mariscos no parece cambiar de una manera significativa. Sin embargo, el pequeño tamaño de la muestra de arqueofauna limita las generalizaciones que pudiesen ser hechas acerca de los patrones alimenticios.

Un mejor control para la presencia de recursos marinos proviene de un análisis de oligoelementos de huesos humanos largos del valle Río del Verde inferior (Joyce 1991a:136-138). El estudio de oligoelementos se enfocó en la determinación de las proporciones de bario (Ba) a estroncio (Sr), lo cual ha sido mostrado ser un fuerte indicador de recursos marinos en la dietas humanas (Burton y Price, 1990). Los resultados del estudio de oligoelementos muestran que los cambios en Ba/Sr nos fueron significativos en muestras provenientes de sitios de la planicie de inundación abarcado los períodos Formativo Tardío y Clásico Temprano. La única diferencia reveladora dentro de la muestra del valle del Río Verde inferior fue proveniente de los entierros del Clásico Temprano del sitio de Barra Quebrada, ubicado en la bahía litoral adyacente a los estuarios y al océano. Lógicamente, la información de los oligoelementos indica que los habitantes de Barra Quebrada consumían mayores cantidades de recursos marinos que los habitantes de los sitios de la planicie de inundación de Cerro de la Cruz y Río Viejo. Los entierros de Barra Quebrada no fueron incluidos en la muestra de isótopo y por lo tanto no ha habido parcialidad con esta muestra en contra de los altos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . La muestra costera general también contuvo un promedio  $\log(\text{Ba/Sr})$  más bajo que la muestra controlada de las tierras altas, indicando que los habitantes costeros consumían mayores cantidades de recursos marinos que los pobladores de las tierras altas. Christensen (1998) muestra que las poblaciones del valle de Río Verde exhiben cambios micro-evolucionarios en dentadura con relación a las poblaciones de las tierras altas, probablemente debido a las diferencias alimenticias entre las regiones. Los datos del valle del Río Verde inferior, sin embargo, fueron indicativos de una dieta grandemente terrestre (agrícola). Aunque más investigaciones son necesarias para evaluar el aporte de los recursos marinos y su efecto en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , los resultados por el momento sugieren que cambios en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  pueden ser mayormente atribuidos a variaciones en el consumo del maíz.

## Conclusión

Este estudio fue diseñado para poner a prueba la hipótesis acerca de los supuestos cambios en la dieta del valle del Río Verde inferior como resultado de los cambios ambientales provocados por la erosión antropogénica en la cuenca de drenaje superior. El estudio geomorfológico muestra que un gran cambio ocurrió en los regímenes deposicionales en el valle del Río Verde inferior durante el Formativo Temprano/Medio (Joyce y Mueller, 1992, 1997). Para el Formativo Tardío, el régimen deposicional moderno ya estaba en su lugar, caracterizado por un río en agradación, con un cauce trezado, y con una planicie de inundación más amplia y fértil en relación a las condiciones geomórficas anteriores. Estudios previos han argumentado que la mayor producción agrícola de la planicie de inundación contribuyó al crecimiento poblacional en la parte inferior del valle empezando desde el período Formativo Tardío. La evolución en curso del Holoceno Tardío del maíz, incluyendo el aumento en el tamaño del elote, también ha de haber contribuido al aumento de la productividad (Benz y Long, 2000). Si los habitantes tomaron ventaja del aumento de la fertilidad del suelo y productividad agrícola en las tierras bajas, esperaríamos ver un aumento en la dependencia del maíz en la dieta.

La investigación paleoecológica del valle del Río Verde inferior indica el cultivo inicial del maíz en la región durante el período Arcaico Tardío entre ca. 2750 a 2480 basado en la presencia de fitolitos de pasto panicoide carbonizado y carbón microscópico lo cual es indicativo de despeje del terreno (Goman et al., en preparación). Sin embargo, siguiendo estas señales agrícolas iniciales, la evidencia de despeje del terreno desaparece en el registro paleoecológico hasta el Formativo Medio y para el Formativo Tardío las evidencias paleoecológica, paleobotánica, y la química ósea indican que el maíz fue un componente importante en las dietas humanas del valle del Río Verde inferior (Goman et al., en preparación; Joyce, 1991a; Woodard, 1991).

Los datos de isótopo estable presentados aquí concuerdan con los resultados reforzados de estudios pasados. Con la excepción de los resultados de la fase Coyuche, el estudio de isótopos estables muestra una clara tendencia hacia el aumento del consumo del maíz con el paso del tiempo. El tamaño de la muestra es más grande para el final del Formativo, en particular la fase Minizundo (n=36) del Formativo Tardío y la fase Chacahua (n=13) del Formativo Terminal Tardío y los resultados muestran un aumento significativo en el consumo de plantas C<sub>4</sub> sobre este lapso de tiempo, casi por seguro debido al aumento del maíz en la dieta. El tamaño de la muestra es pequeño para períodos de tiempo posteriores, lo cual puede que explique el cambio hacia plantas C<sub>3</sub> en la muestra de Coyuche así como poco comunes altos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (alto consumo de maíz) para la muestra de la fase Yugüe.

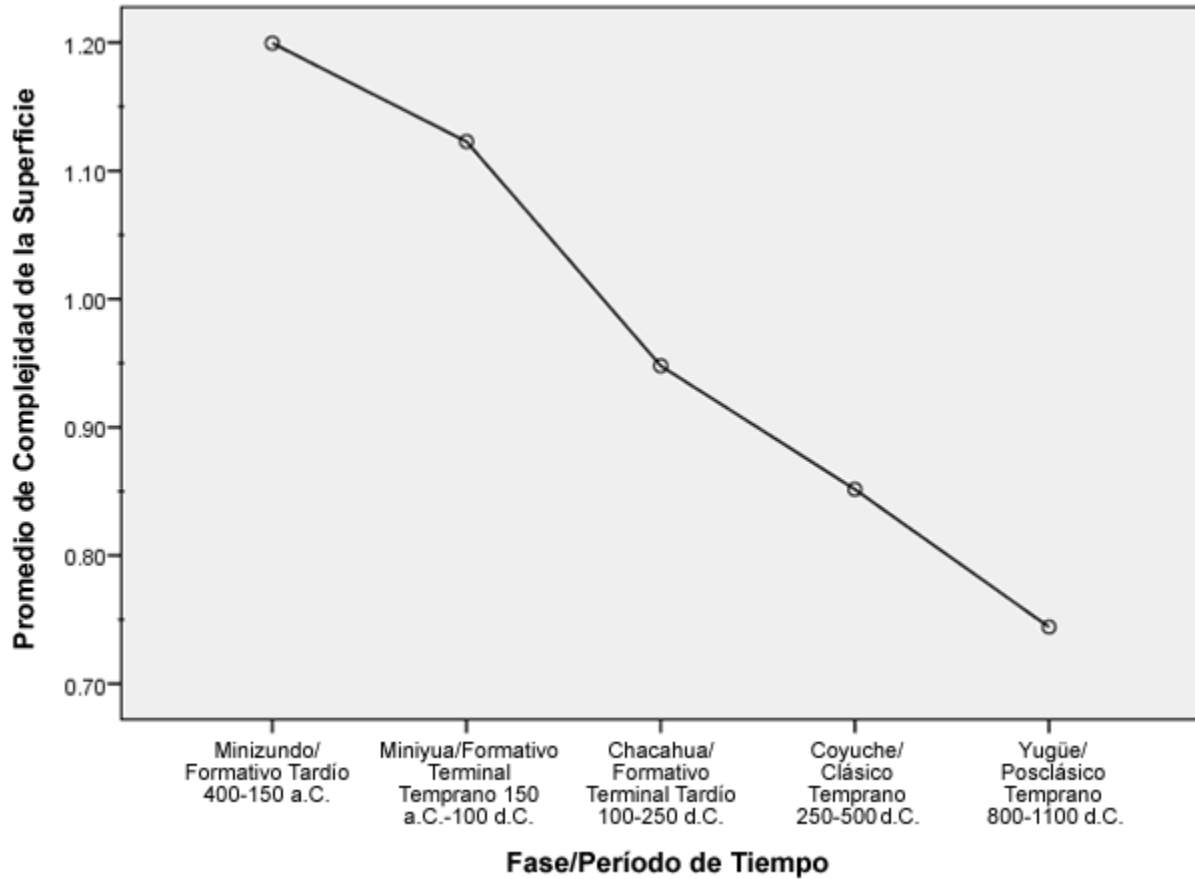
Aunque el pequeño tamaño de la muestra del estudio de micro-desgaste dental no es suficiente para evaluar de manera adecuada los cambios alimenticios a largo plazo, la tendencia hacia la disminución de complejidad de la superficie con el paso del tiempo puede que concuerde con el aumento en el consumo del maíz. Comparaciones de amplia escala entre grupos humanos sugiere que el análisis de textura de micro-desgaste tiene el potencial de proveer información importante acerca de la textura de la dieta. Muestras grandes de micro-desgaste dental y estudios adicionales de métodos de preparación y cocción del maíz son necesarias para poder obtener más de este enfoque.

En conclusión, el análisis de isótopos de carbono indica un aumento en el consumo del maíz desde el período Formativo Tardío hasta el período Posclásico Temprano. Estos datos, en conjunto con previos estudios paleoecológicos, arqueobotánicos, y de química ósea, concuerdan

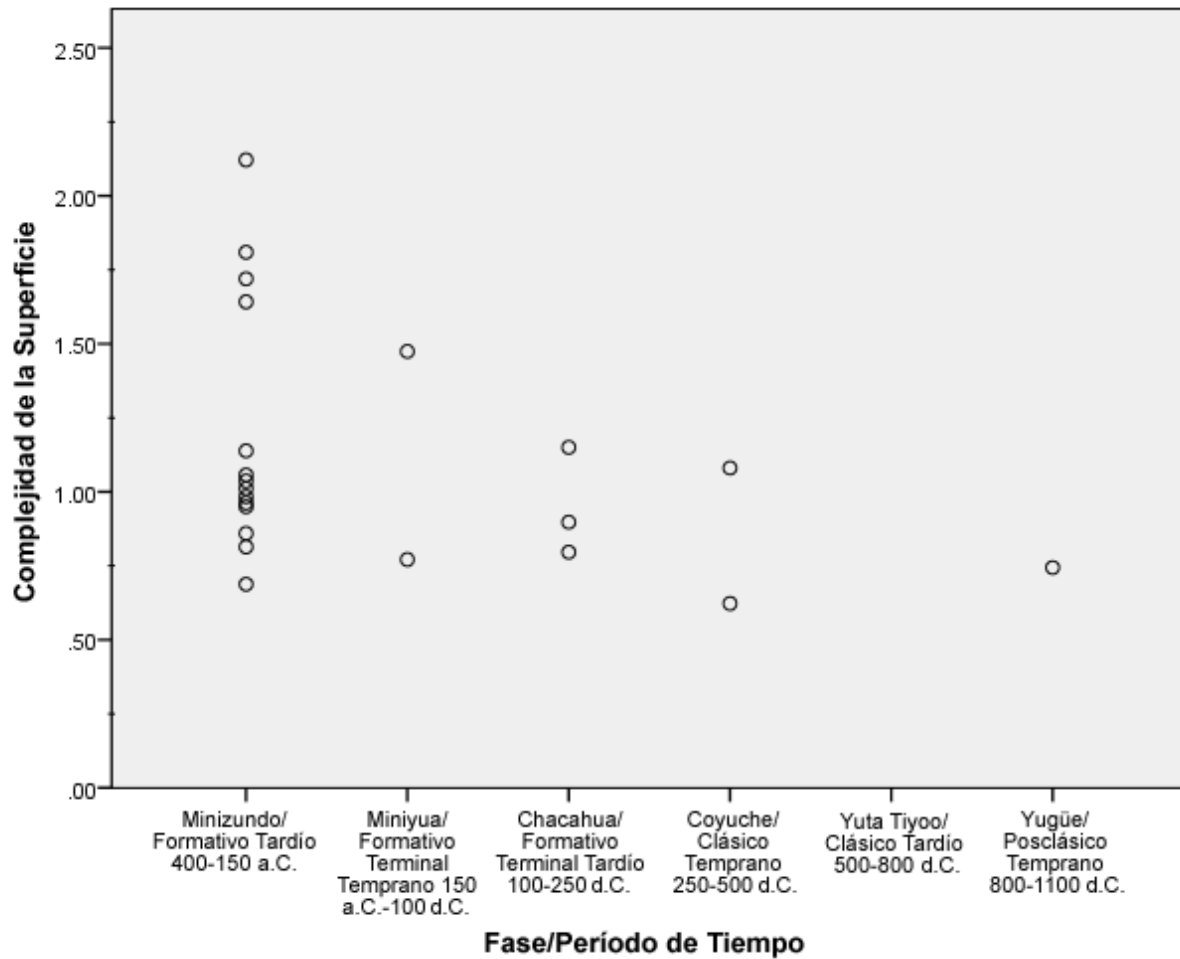
con el estudio geomorfológico que indica que la productividad agrícola de la planicie de inundación aumentó seguido el establecimiento del régimen deposicional moderno durante el período Formativo Tardío. Los resultados sugieren que al aumentar la fertilidad del suelo de la planicie de inundación, los habitantes comenzaron a depender más en el maíz como recurso de subsistencia.

## Figuras

**Figura 1.** Trazado del promedio de complejidad de la superficie con el paso del tiempo. Esta figura sugiere que la complejidad de la superficie dental disminuyó con el paso del tiempo mientras el maíz, el cual es relativamente no áspero, aumentó. No se muestra la fase Yuta Tiyoo.

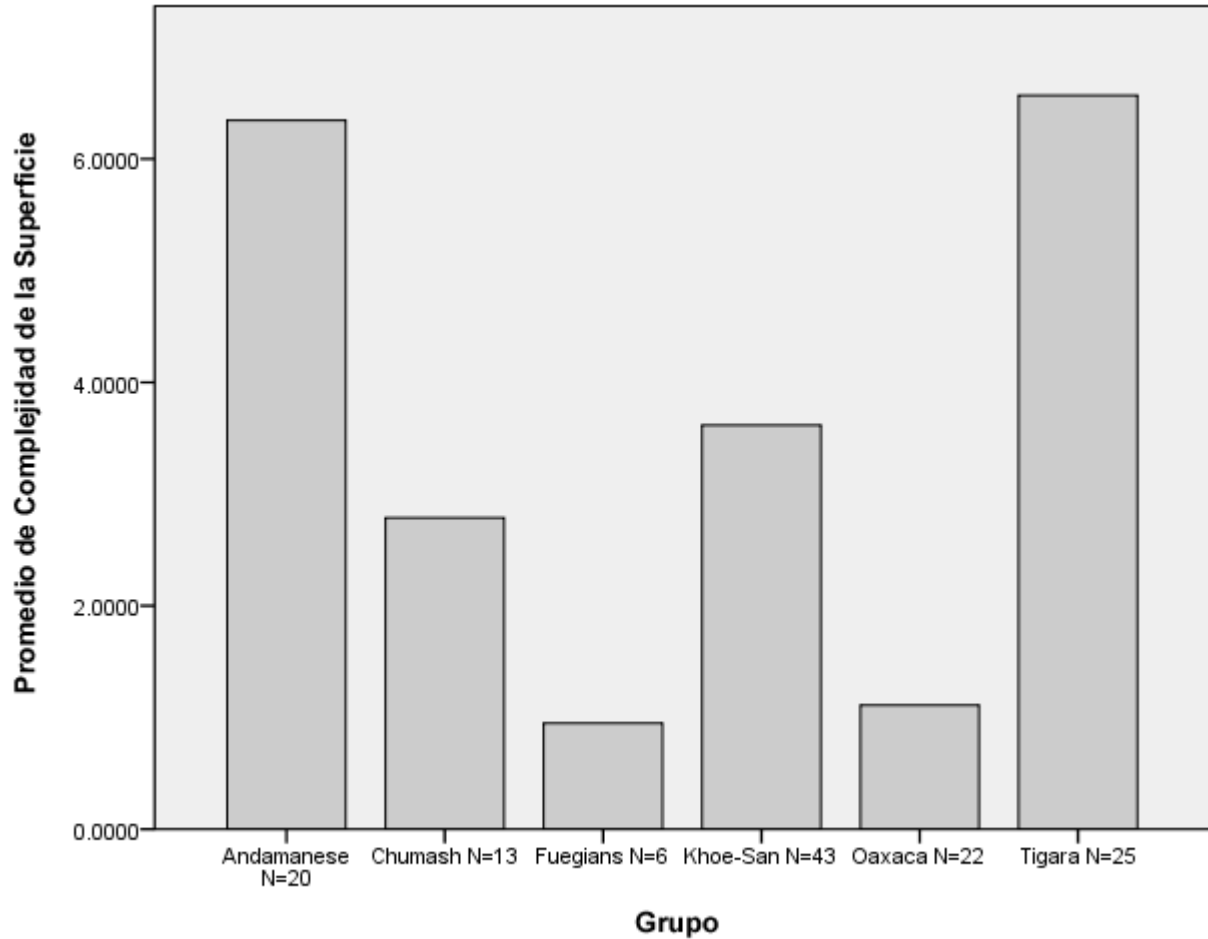


**Figura 2.** Trazado disperso de la complejidad de la superficie con el paso del tiempo. Esta figura también sugiere que la complejidad de la superficie dental disminuyó con el paso del tiempo pero también revela la pobre distribución de información a través de las fases.

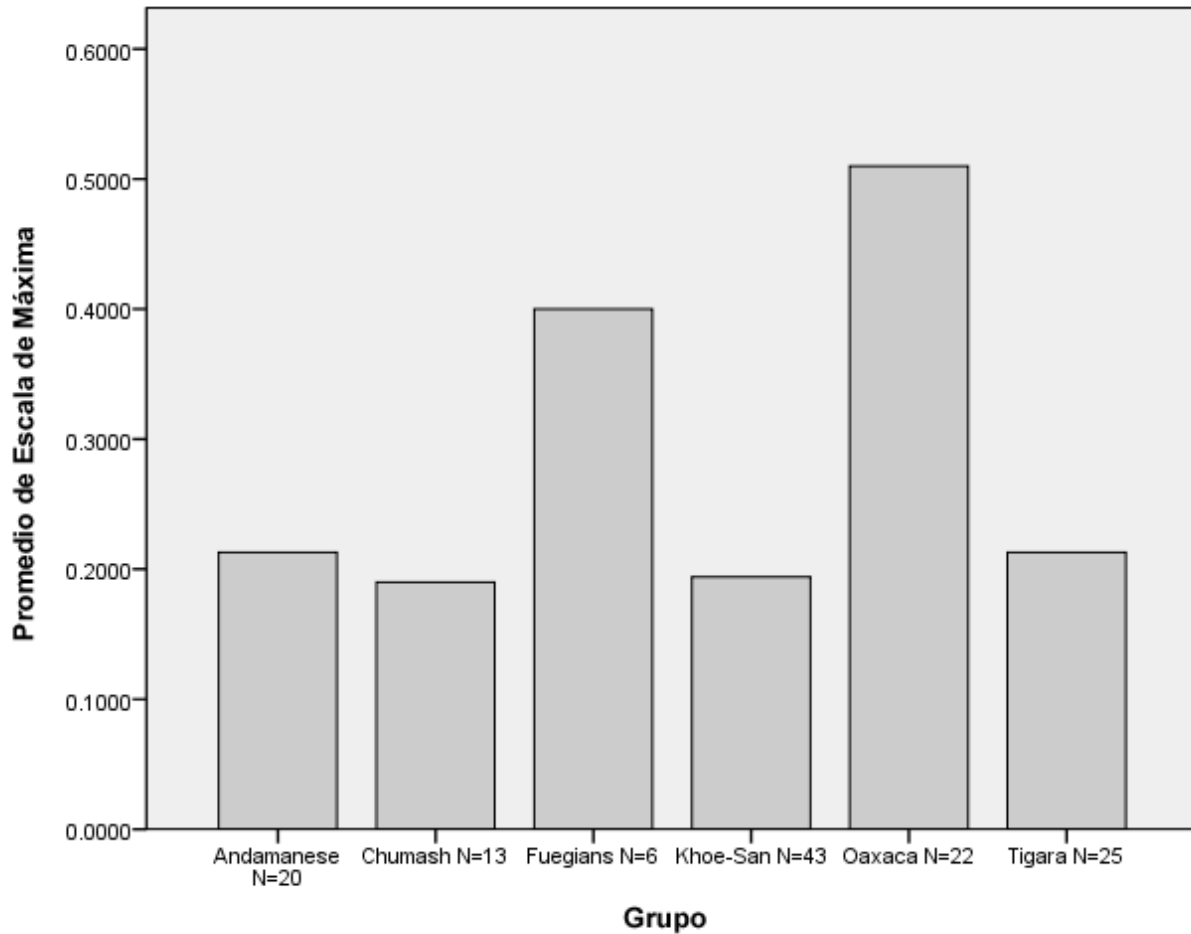




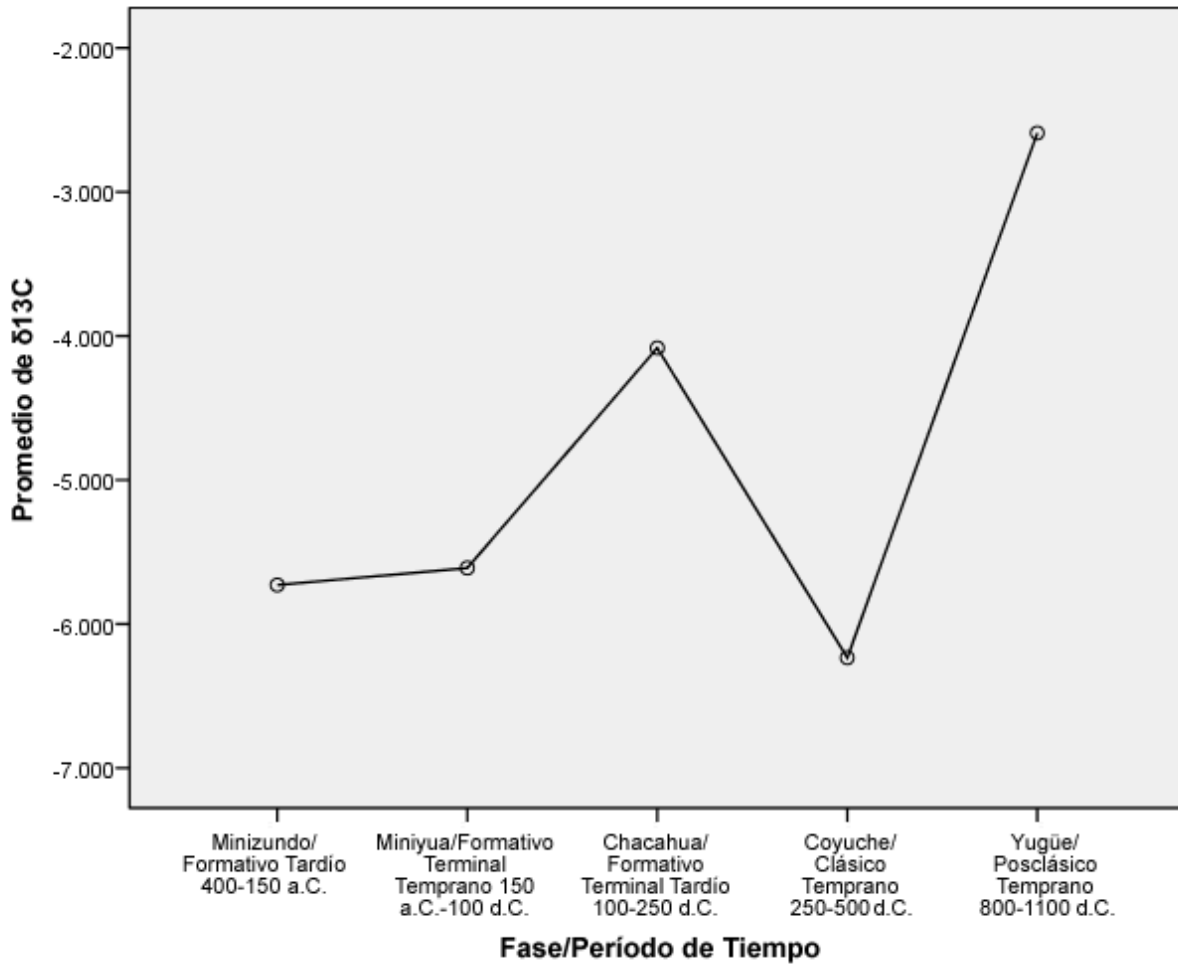
**Figura 3.** *Comparación del promedio de complejidad de la superficie entre grupos humanos modernos.* La muestra de Oaxaca muestra relativamente baja complejidad en la superficie comparado con los grupos cazadores-recolectores y es más similar en su promedio Asfc a las Chumash y Fuegian, las cuales están asociadas con ambientes Mediterráneos y de tundras abiertas, respectivamente.



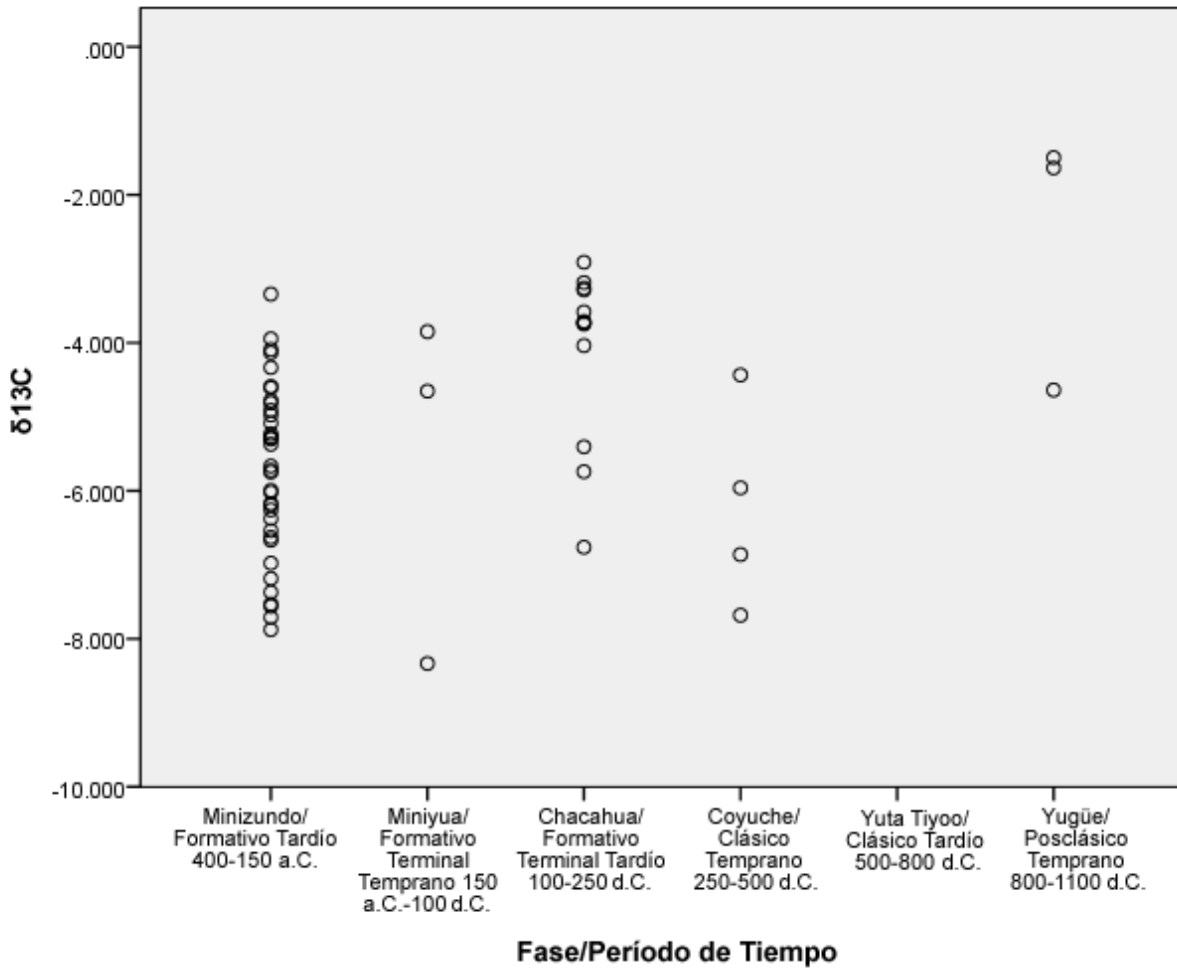
**Figura 4.** Comparación del promedio de escala de máxima complejidad entre grupos humanos modernos. La muestra de Oaxaca muestra un mayor promedio S<sub>mc</sub> que los grupos cazadores-recolectores, sugiriendo que las superficies de esta muestra son más complejas en una escala más áspera. Este resultado concuerda con una dieta la cual contiene relativamente pocas partículas ásperas.



**Figure 5.** *Trazado de promedios de  $\delta^{13}\text{C}$  a través del tiempo.* Esta figura muestra valores de  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativos a través del tiempo, con la excepción de la fase Coyuche. No se muestra la fase Yuta Tiyoo.



**Figura 6.** Trazado disperso de  $\delta^{13}C$  a través del tiempo. Esta figura sugiere valores de  $\delta^{13}C$  menos negativos a través del tiempo pero también revela diferencias en la distribución de datos a través de las fases con las fases Minizundo y Chacahua siendo las mejores representadas.



## Tablas

**Tabla 1. Información de Muestras.** Una lista de las muestras usadas en este estudio, organizadas por sitio y período de tiempo.

Sitio	Período de Tiempo	Fase	Espécimen	Micro-desgaste (N=22)	Isótopos (N=59)
Barra Quebrada 1986	EC, A.D. 250–500	Coyuche	RV2 B5	x	
Cerro de la Cruz 1988	ETF, 150 B.C.–A.D. 100	Miniyua	CC88 B4-I6	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B5-I7		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B13-I9	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B10-I16		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA3-I23		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B20-I25	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B14-I35		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B12-I38		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA2-I39	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B15-I40		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I44		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I45		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I47	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I47 (2)		x
Cerro de la Cruz 1988	ETF, 150 B.C.–A.D. 100	Miniyua	CC88 B8-I49		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I50	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I52		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I57		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I58	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I58 (2)		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA2-I68		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA2-I70		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA2-I71		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA1-I72		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B50-I73		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B50-I74	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B43-I76	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B48-I80		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA2-I84	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 BA2-I85		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B30-I87	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B30-I88	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B27-I89	x	
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B30-I90	x	x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B31-I93		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B46-I103		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B40-I61		x
Cerro de la Cruz 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	CC88 B49-I79		x
Río Viejo 1988	EC, A.D. 250–500	Coyuche	RV88 B4-I4		x
Río Viejo 1988	EC, A.D. 250–500	Coyuche	RV88 B7-I7		x

Río Viejo 1988	LF, 400–150 B.C.	Minizundo	RV88 B8-I8	x	x
Río Viejo 1988	EC, A.D. 250–500	Coyuche	RV88 B16-I18		x
Río Viejo 1988	EC, A.D. 250–500	Coyuche	RV88 B19-I21	x	x
Río Viejo 2000	EP, A.D. 800–1100	Yugüe	RV0A B28-I36		x
Río Viejo 2000	EP, A.D. 800–1100	Yugüe	RV0A B41-I49		x
Río Viejo 2000	EP, A.D. 800–1100	Yugüe	RV0A B41-I50	x	x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B43-I47		x
Yugüe 2003	ETF, 150 B.C.–A.D. 100	Miniyua	PRV03 B6-I6	x	x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B8-I8		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B10-I11	x	x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B11-I12		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B12-I13	x	x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B14-I15		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B14-I16		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B17-I19		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B20-I22	x	x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B26-I30		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B27-I31		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 B28-I32		x
Yugüe 2003	LTF, A.D. 100–250	Chacahua	PRV03 FS749		x

**Tabla 2.** *Tabla ANOVA: diferencias en texturas de micro-desgaste por Fase/Período de Tiempo.*

			Suma de Cuadrados	df	Promedios Cuadrados	F	Sig.
Complejidad de la Superficie (Asfc) * Fase/Período de Tiempo	Entre Grupos	(Combinados)	.458	4	.115	.675	.618
		Dentro de Grupos	2.884	17	.170		
		Total	3.342	21			
Escala de Máxima Complejidad (Smc) * Fase/Período de Tiempo	Entre Grupos	(Combinados)	.232	4	.058	1.166	.361
		Dentro de Grupos	.844	17	.050		
		Total	1.076	21			
Anisotropía (epLsar) * Fase/Período de Tiempo	Entre Grupos	(Combinados)	.000	4	.000	1.805	.174
		Dentro de Grupos	.000	17	.000		
		Total	.000	21			
Relleno de Textura de Volumen (Tfv) * Fase/Período de Tiempo	Entre Grupos	(Combinados)	4.682E7	4	1.171E7	.462	.762
		Dentro de Grupos	4.305E8	17	2.533E7		
		Total	4.774E8	21			
3x3HAsfc * Fase/Período de Tiempo	Entre Grupos	(Combinados)	.068	4	.017	1.344	.294
		Dentro de Grupos	.216	17	.013		
		Total	.284	21			

**Tabla 3.** *Tablas ANOVA: diferencias en  $\delta^{13}\text{C}$  por Fase/Período de Tiempo y pruebas pos-hoc.*

			Suma de Cuadrados	df	Promedio Cuadrado	F	Sig.
d13C * Fase/Período de Tiempo	Entre Grupos	(Combinados)	51.439	4	12.860	7.931	.000
		Dentro de Grupos	87.558	54	1.621		
		Total	138.997	58			

(I) Fase/Período de Tiempo	(J) Fase/Período de Tiempo	Diferencias de Promedios (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Intervalo de Confianza	
					Límite Inferior	Límite Superior
Minizundo/Formativo Tardío, 400–150 a.C.	Miniyua/Formativo Terminal temprano, 150 a.C.–d.D. 100	-.117922	.765194	.878	-1.65204	1.41620
	Chacahua/Formativo Terminal tardío, d.C. 100–250	-1.646043*	.412028	.000	-2.47211	-.81998
	Coyuche/Clásico Temprano, d.C. 250–500	.504686	.671120	.455	-.84083	1.85020
	Yugue/Posclásico Temprano, d.C. 800–1100	-3.138856*	.765194	.000	-4.67298	-1.60473
Miniyua/Formativo Terminal temprano, 150 a.C.–d.C. 100	Minizundo/Formativo Tardío, 400–150 a.C.	.117922	.765194	.878	-1.41620	1.65204
	Chacahua/Formativo Terminal tardío, d.C. 100–250	-1.528121	.815603	.066	-3.16331	.10707
	Coyuche/Clásico Temprano, d.C. 250–500	.622608	.972545	.525	-1.32723	2.57244
	Yugue/Posclásico Temprano, d.C. 800–1100	-3.020933*	1.039694	.005	-5.10539	-.93647
Chacahua/Formativo Terminal tardío, d.C. 100–	Minizundo/Formativo Tardío, 400–150 a.C.	1.646043*	.412028	.000	.81998	2.47211



250	Miniyua/Formativo					
	Terminal temprano, 150 a.C.–d.C. 100	1.528121	.815603	.066	-.10707	3.16331
	Coyuche/Clásico					
	Temprano, d.C. 250–500	2.150729*	.728071	.005	.69103	3.61042
	Yugue/Posclásico					
	Temprano, d.C. 800–1100	-1.492813	.815603	.073	-3.12800	.14237
Coyuche/Clásico Temprano, d.C. 250–500	Minizundo/Formativo					
	Tardío, 400–150 a.C.	-.504686	.671120	.455	-1.85020	.84083
	Miniyua/Formativo					
	Terminal temprano, 150 a.C.–d.C. 100	-.622608	.972545	.525	-2.57244	1.32723
	Chacahua/Formativo					
	Terminal tardío, d.C. 100–250	-2.150729*	.728071	.005	-3.61042	-.69103
	Yugue/Posclásico					
	Temprano, d.C. 800–1100	-3.643542*	.972545	.000	-5.59338	-1.69371
Yugue/Posclásico Temprano, d.C. 800–1100	Minizundo/Formativo					
	Tardío, 400–150 a.C.	3.138856*	.765194	.000	1.60473	4.67298
	Miniyua/Formativo					
	Terminal temprano, 150 a.C.–d.C. 100	3.020933*	1.039694	.005	.93647	5.10539
	Chacahua/Formativo					
	Terminal tardío, d.C. 100–250	1.492813	.815603	.073	-.14237	3.12800
	Coyuche/Clásico					
	Temprano, d.C. 250–500	3.643542*	.972545	.000	1.69371	5.59338

\*. La diferencia del promedio es significativa al nivel de 0.05.

## References

- Benz, BF, y Long, A (2000) Prehistoric maize evolution in the Tehuacan Valley. *Current Anthropology* 41:459-465.
- Burton, JH, y Price, TD (1990) The Ratio of Barium to Strontium as a Paleodietary Indicator of Consumption of Marine Resources. *Journal of Archaeological Science* 17:547-557.
- Christensen, AF (1998) Colonization and Microevolution in Formative Oaxaca, Mexico. *World Archaeology* 30(2):262-285.
- El-Zaatari, S (2007) *Ecogeographic Variation in Neandertal Dietary Habits: Evidence from Microwear Texture Analysis*, Stony Brook University, Stony Brook, New York.
- El-Zaatari, S (2008) Occlusal Microwear Texture Analysis and the Diets of Historical/Prehistoric Hunter-Gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology* PUBLISHED ONLINE.
- Fernández, D (2004) *Subsistence in the Inferior Río Verde Region, Oaxaca, Mexico: A Zoological Analysis*, Tesis de maestría, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- Geller, PL (2004) *Transforming Bodies, Transforming Identities: A Consideration of Pre-Columbian Maya Corporeal Beliefs and Practices*, Tesis doctoral, University of Pennsylvania, University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.
- Goman, M, Joyce, A, y Mueller, RG (2005) Stratigraphic Evidence for Anthropogenically Induced Coastal Environmental Change from Oaxaca, Mexico. *Quaternary Research* 63:250-260.
- Goman, M, Joyce, AA, y Mueller, RG (en preparación) Paleoeological Evidence for Agriculture and Forest Clearance in Coastal Oaxaca. En AA Joyce (ed.): *Formative Period Archaeology of the Inferior Río Verde Valley*. Boulder: University Press of Colorado.
- Joyce, AA (1991a) Formative Period social change in the inferior Rio Verde valley, Oaxaca, Mexico. *Latin American Antiquity* 2:126-150.
- Joyce, AA (1991b) *Formative Period Occupation in the Inferior Río Verde Valley, Oaxaca, Mexico: Interregional Interaction and Social Change*. Tesis doctoral, Rutgers University, University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.
- Joyce, AA (2005) La arqueología del bajo Río Verde. *Acervos* 7:16-36.
- Joyce, AA, y Mueller, RG (1992) The Social impact of Anthropogenic Landscape Modification in the Río Verde Drainage Basin, Oaxaca, Mexico. *Geoarchaeology* 7:503-526.
- Joyce, AA, y Mueller, RG (1997) Prehispanic Human Ecology of the Río Verde Drainage Basin, Oaxaca, Mexico. *World Archaeology* 729.
- Joyce, AA, Winter, M, y Mueller RG (1998) *Arqueología de la costa de Oaxaca: Asentamientos del periodo Formativo en el valle del Río Verde inferior*. Oaxaca, Mexico: Centro INAH Oaxaca.
- Krueger, KL, Scott, JR, Kay, RF, y Ungar, PS (2008) Technical note: Dental microwear textures of "Phase I" and "Phase II" facets. *American Journal of Physical Anthropology* 137:485-490.
- Krueger, KL, y Ungar, PS (en revista) Incisor microwear textures of five bioarchaeological groups. *International Journal of Osteoarchaeology*.
- Lee-Thorp, J, van der Merwe, NJ, y Brain, CK (1989) Isotopic evidence for dietary differences between two extinct baboon species from Swartkrans. *Journal of Human Evolution* 27:361-372.

- Lee-Thorp, JA, Manning, L, y Sponheimer M (1997) Exploring Problems and Opportunities Offered by Down-Scaling Sample Sizes for Carbon Isotope Analyses of Fossils. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 168:767-773.
- Schoeninger, MJ, DeNiro, MJ, y Tauber, H (1983) Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220:1381-1383.
- Schwarcz, HP, y White, CD (2004) The grasshopper or the ant?: Cultigen-use strategies in ancient Nubia from C-13 analyses of human hair. *Journal of Archaeological Science* 31:753-762.
- Scott, JR, Godfrey, LR, Jungers, WL, Scott, RS, Simons, EL, Teaford, MF, y Ungar, PS (2009) Dental microwear texture analysis of two families of subfossil lemurs from Madagascar. *Journal of Human Evolution*.
- Scott, RS, Ungar, PS, Bergstrom, TS, Brown, CA, Childs, BE, Teaford, MF, y Walker, A (2006) Dental microwear texture analysis: technical considerations. *Journal of Human Evolution* 51:339-349.
- Scott, RS, Ungar, PS, Bergstrom, TS, Brown, CA, Grine, FE, Teaford, MF, y Walker, A (2005) Dental microwear texture analysis shows within-species diet variability in fossil hominins. *Nature* 436:693-695.
- Smith, BH (1991) Standards of human tooth formation and dental age assessment. En MA Kelley y CS Laresen (eds.): *Advances in Dental Anthropology*. New York: Wiley-Liss, pp. 143-168.
- Sponheimer, M (1999) *Isotopic Ecology of the Makapansgat Limeworks Fauna*. Tesis doctoral, Rutgers University. Ann Arbor: University Microfilms International.
- Sponheimer, M, y Lee-Thorp, J (1999) Isotopic evidence for the diet of an early hominid, *Australopithecus africanus*. *Science* 283:368-370.
- Sponheimer, M, Lee-Thorp, JA, DeRuiter, DJ, Smith, JM, van der Merwe, NJ, Reed, K, Grant, CC, Ayliffe, LK, Robinson, TF, Heidelberger, C, y Marcus, W (2003) Diets of southern African Bovidae: stable isotope evidence. *Journal of Mammalogy* 84:471-479.
- Teaford, MF, Lytle, JD (1996) Brief communication: Diet-induced changes in rates of human tooth microwear: a case study involving stone-ground maize. *American Journal of Physical Anthropology* 100:143-147.
- Teaford, MF, y Oyen, OJ (1989) Differences in the rate of molar wear between monkeys raised on different diets. *Journal of Dental Research* 68:1513-1518.
- Tykot, RH (2002) Contribution of stable isotope analysis to understanding dietary variation among the Maya. En K Jakes (ed.): *Archaeological Chemistry: Materials, Methods, and Meaning*. Washington, D.C.: American Chemical Society, pp. 214-230.
- van der Merwe, NJ (1982) Carbon isotopes, photosynthesis, and archaeology. *American Scientist* 70:596-606.
- van der Merwe, NJ, Roosevelt, AC, y Vogel, JC (1981) Isotopic evidence for prehistoric subsistence change at Parmana, Venezuela. *Nature* 292:536-538.
- van der Merwe, NJ, y Vogel, JC (1978)  $^{13}\text{C}$  content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature* 276:815-816.
- Vogel, JC, y van der Merwe, NJ (1977) Isotopic evidence for Early Maize Cultivation in New York State. *American Antiquity* 42:238-242.
- White, CD (1993) Isotopic determination of seasonality in diet and death from Nubian mummy hair. *Journal of Archaeological Science* 20:657-666.

Woodard, SJ (1991) Appendix 3: Paleobotanical Study Río Verde Formative Project. En *Formative Period Occupation in the Inferior Río Verde Valley, Oaxaca, Mexico: Interregional Interaction and Social Change*, por A.A. Joyce, Tesis doctoral, Rutgers University, University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.

**Apéndice I. Datos crudos de textura de micro-desgaste.**

<b>Espécimen</b>	<b>Facet</b>	<b>Asfc</b>	<b>epLsar</b>	<b>Smc</b>	<b>Tfv</b>	<b>Ftfv</b>	<b>3x3HAsfc</b>	<b>9x9HAsfc</b>
RV2 B5	9	0.62	0.0024	0.51	4141.45	11401.25	0.45	0.48
CC88 B4-I6	9	0.77	0.0045	0.42	10461.95	17917.08	0.49	0.50
CC88 B13-I9	9	0.86	0.0021	0.27	3552.74	10019.77	0.59	0.59
CC88 B20-I25	9	0.98	0.0027	0.51	11383.90	19992.83	0.49	0.52
CC88 BA2-I39	10	1.72	0.0017	0.82	3783.77	10370.08	0.62	0.65
CC88 BA1-I47	10	0.96	0.0050	0.60	3945.06	11520.88	0.42	0.44
CC88 BA1-I50	10	1.04	0.0029	0.42	6701.76	11889.81	0.51	0.53
CC88 BA1-I58	10	1.01	0.0018	0.42	403.64	8129.83	0.52	0.62
CC88 B50-I74	9	1.06	0.0043	1.21	5164.76	13299.70	0.57	0.60
CC88 B43-I76	9	1.64	0.0028	0.34	8084.21	14630.60	0.54	0.55
CC88 BA2-I84	9	1.14	0.0013	0.60	1081.35	9080.57	0.57	0.61
CC88 B30-I87	9	0.69	0.0028	0.42	10817.25	18334.95	0.47	0.47
CC88 B30-I88	9	2.12	0.0045	0.27	14340.80	19978.54	0.91	1.03
CC88 B27-I89	9	0.95	0.0042	0.60	215.92	5599.11	0.73	0.72
CC88 B30-I90	10	0.81	0.0043	0.60	885.92	9253.88	0.52	0.66
RV88 B19-I21	9	1.08	0.0045	0.82	1205.71	10001.59	0.43	0.50
RV88 B8-I8	10	1.81	0.0048	0.60	454.27	8420.91	0.53	0.55
RV0A B41-I50	9	0.74	0.0023	0.51	1020.28	4792.43	0.75	0.88
PRV03 B10-I11	9	0.80	0.0019	0.42	888.01	8702.78	0.44	0.48
PRV03 B12-I13	9	0.90	0.0022	0.27	15027.66	21627.91	0.65	0.66
PRV03 B20-I22	9	1.15	0.0009	0.27	253.51	7311.57	0.56	0.64
PRV03 B6-I6	9	1.47	0.0041	0.27	5809.49	13370.46	0.55	0.58

**Apéndice II.** *Datos crudos de isótopos estables.*

Espécimen	Diente	$\delta^{13}\text{C}$	csd	$\delta^{18}\text{O}$	osd	Peak1 area Vs
CC88 B4-I6	superior M2	-4.652	0.157043	24.3738	0.371573	7.3
CC88 B8-I49	inferior M3	-8.3328	0.122383	20.4233	0.30941	76.7
CC88 B5-I7	inferior M2	-5.9944	0.141984	22.4386	0.427501	9.8
CC88 B13-I9	inferior M3	-4.9738	0.213529	23.0575	0.997486	7.7
CC88 B10-I16	inferior M2	-5.2989	0.141342	22.8035	0.524485	14.3
CC88 BA3-I23	inferior M3	-4.5889	0.093776	22.4843	0.604292	14.3
CC88 B20-I25	inferior M2	-6.9781	0.061555	20.2232	0.177666	33.5
CC88 B14-I35	superior M2	-6.0212	0.112126	22.3241	0.436821	14
CC88 B12-I38	inferior M3	-7.71	0.1051	20.329	0.39038	70.3
CC88 BA2-I39	inferior M2	-6.1705	0.055247	21.6824	0.32859	18.3
CC88 B15-I40	no record	-6.6285	0.067773	20.398	0.203145	50.7
CC88 BA1-I44	superior M2	-4.6087	0.089454	21.9704	0.399884	17.8
CC88 BA1-I45	inferior M2	-3.9458	0.150655	23.3819	0.625274	8.1
CC88 BA1-I47	inferior M3	-5.271	0.110608	21.0171	0.613367	14
CC88 BA1-I47 (2)	inferior M2	-4.3342	0.15375	23.3577	0.533926	7.1
CC88 BA1-I50	inferior M2	-7.5595	0.196153	23.5797	1.016374	4.9
CC88 BA1-I52	superior M2	-7.5306	0.23185	21.31	1.14893	5.7
CC88 BA1-I57	superior M2	-4.134	0.182763	22.739	0.692648	7.2
CC88 BA1-I58	inferior M3	-6.3764	0.057281	20.1426	0.141954	36.3
CC88 BA1-I58 (2)	inferior M3	-6.5375	0.068242	19.7145	0.200207	38.1
CC88 BA2-I68	inferior M3	-6.258	0.070832	20.3176	0.136458	34.5
CC88 BA2-I70	superior M2	-4.8124	0.194923	23.6834	0.740367	7.6
CC88 BA2-I71	inferior M2	-5.3696	0.057085	20.4065	0.207403	29.8
CC88 BA1-I72	inferior M2	-5.7215	0.165821	22.4192	0.509169	12
CC88 B50-I73	inferior M1	-4.779	0.109272	22.1177	0.515265	12.4
CC88 B50-I74	superior M2	-4.0906	0.131607	23.5105	0.642333	7.7
CC88 B43-I76	inferior M3	-7.186	0.137855	20.6553	0.509231	15.7
CC88 B48-I80	inferior M3	-6.6681	0.065039	19.8596	0.221196	37.6
CC88 BA2-I84	superior M2	-6.1944	0.14327	19.7833	0.407874	76.8
CC88 BA2-I85	superior M2	-5.085	0.086179	21.517	0.419456	14.8
CC88 B30-I87	superior M3	-5.2831	0.17174	21.8269	0.563023	9.3
CC88 B30-I88	inferior M3	-5.6643	0.144242	21.3896	0.471657	13.1
CC88 B30-I90	inferior M3	-5.7487	0.128748	21.9509	0.465847	8.5
CC88 B31-I93	superior M1	-3.3417	0.162482	24.24	0.493777	8.2
CC88 B46-I103	superior M1	-5.2275	0.144899	23.567	0.294392	10.5
CC88 B40-I61	inferior M3	-7.8767	0.118124	21.2165	0.369574	18.6
CC88 B49-I79	superior M2	-7.3705	0.056929	20.9346	0.323104	22.4
RV88 B4-I4	superior M3	-4.4344	0.155793	23.977	0.675084	7.7
RV88 B7-I7	superior M1	-6.8611	0.055089	19.5132	0.153456	42.7
RV88 B16-I18	inferior M3	-5.9597	0.117018	21.6983	0.532462	11.5
RV88 B19-I21	inferior M3	-7.6803	0.108118	20.6129	0.379199	137.1
RV88 B8-I8	inferior M2	-4.9117	0.124243	22.2694	0.487557	14.9
RV0A B28-I36	inferior M2	-1.6367	0.170814	24.745	0.808907	5.9
RV0A B41-I49	inferior M2	-4.6374	0.258484	22.034	0.627261	5.1

RV0A B41-I50	inferior M3	-1.4969	0.216141	24.1683	0.887215	7
PRV03 B43-I47	inferior M1	-4.0368	0.089044	22.0862	0.344831	20.5
PRV03 B8-I8	inferior M2	-3.2861	0.150959	23.6779	0.684217	10
PRV03 B10-I11	inferior M2	-5.4045	0.173504	21.7138	0.472686	14.5
PRV03 B11-I12	superior M2	-2.9095	0.175935	22.4292	0.900405	6.2
PRV03 B12-I13	superior M2	-3.1847	0.209366	24.9263	1.04618	5
PRV03 B14-I15	superior M2	-3.7133	0.119039	23.1218	0.613231	5.3
PRV03 B14-I16	inferior M2	-3.7443	0.174417	24.5661	0.576539	8.1
PRV03 B17-I19	inferior M2	-6.7627	0.063119	20.1472	0.150916	30.4
PRV03 B20-I22	inferior M3	-5.7404	0.156711	22.0793	0.309167	10.9
PRV03 B26-I30	superior M2	-3.2603	0.200299	23.8274	0.840218	5.7
PRV03 B27-I31	superior M2	-3.7274	0.133489	22.1946	0.659392	11.2
PRV03 B28-I32	superior M2	-3.5808	0.056934	21.2101	0.271057	24.3
PRV03 FS749	superior M3	-3.7301	0.18045	23.1813	0.46578	11.6
PRV03 B6-I6	inferior M3	-3.849	0.188624	23.5089	0.417832	8.2

### **Capítulo 3**

## **Análisis Genético de Restos Óseos Provenientes del Valle del Río Verde Inferior**

**Arion Mayes**  
**John Spotts**  
**Arthur Joyce**  
**Sarah B. Barber**

### **Introducción**

Proyectos arqueológicos en curso han descubierto una serie de poblaciones óseas de los períodos Formativo Tardío al Posclásico Tardío (400 a.C. –d.C. 1522) en el valle del Río Verde inferior. Estudios arqueológicos en la región han examinado la ecología humana, interacciones interregionales, e historia política de los pobladores prehispánicos en la región (Barber 2005; Joyce 1991b, 2005, 2006; Joyce et al. 1998). El estudio biológico de los restos humanos ha tratado estos asuntos de biología humana, dieta y nutrición, y paleopatología que realzan la evidencia arqueológica. El enfoque biológico tiene varios componentes, incluyendo análisis químico óseo. Generalmente, restos óseos en la región han sido recuperados en condiciones relativamente frágiles. El resultado fue que el material óseo terminó muy fragmentario por causa de los procesos tafonómicos naturales, como la distorsión plástica a causa de la presión del suelo y la saturación del hueso durante las temporadas de lluvia, y la deshidratación durante las temporadas secas.

A pesar de las condiciones, y de la antigüedad de los restos, el análisis óseo basado en un examen macroscópico ha sido llevado a cabo (Mayes y Barber 2008, Melmed 2006, Mayes et al en revista). En el 2005, Mayes (Mayes et. al 2005) caracterizó Yugué del Formativo Terminal por medio del análisis bioarqueológicos del cementerio de su comunidad. El análisis óseo y dental cede al entendimiento de la salud y el comportamiento de las poblaciones arqueológicas, y sucesivamente “la salud está ligada con el cambio demográfico, social, económico y político y con los resultados de guerras y otros conflictos” (Steckel 2003:219). Indicadores óseos de estrés biológico y ocupacional, dieta, y comportamiento revelaron aspectos de esta población. La salud general de la población era buena, siempre y cuando los individuos sobrevivieran episodios de estrés durante la niñez, y su dieta consistiera de una mezcla de carbohidratos y proteína (Melmed 2006). Las diferencias en el estatus de la salud y elementos culturales de los individuos enterrados en el cementerio, dan apoyo a una diferencia en clases, sin embargo semejanzas en dieta entre los individuos y sus entierros en el cementerio de la comunidad también sugieren la afiliación comunal. Finalmente, material cultural (empastes dentales, un pectoral de mineral de hierro, y una flauta de hueso) encontrados con entierros específicos sugieren vínculos externos (Barber 2005).

El propósito de este proyecto es probar la viabilidad del análisis genético de restos previamente excavados en la región. Si las muestras son estimadas viables, ADN será usado para discutir relaciones biológicas entre individuos enterrados en tres sitios (incluyendo dos cementerios) del valle del Río Verde inferior, y después una región mucho más amplia. Estudios genéticos usando ADN antiguo (aADN) son otra línea investigación a ser relacionados con



estudios arqueológicos y bioarqueológicos en un esfuerzo de dilucidar la historia biológica y cultural de los habitantes del valle del Río Verde inferior.

### **Descripción del Proyecto**

Las pruebas para este estudio tomaron lugar en el laboratorio *Ancient DNA* en la Universidad de Oklahoma bajo la dirección de la Dra. Cecil Lewis. Esta instalación es una instalación de tecnología de último modelo específicamente diseñado para el procesamiento y análisis de muestras críticas y altamente fragmentarias de ADN. El análisis de ADN antiguo puede ser difícil, con la mayoría de los problemas proviniendo de posible contaminación del ADN antiguo con ADN moderno o exógeno. Los procedimientos de laboratorio para la descontaminación de las muestras, procesos extensos de revisión para evaluar la posibilidad de contaminación, rigurosos procedimientos desarrollados para minimizar contaminación, evaluaciones de las muestras fuera del laboratorio (Sampietro et. al 2006, Kaestle & Horsburgh 2002, O'Rourke et al. 1996, Richards y Sykes 1995), y finalmente el uso de uno de los mejores laboratorios de ADN antiguo hacen manejable el asunto de la contaminación.

Setenta y dos muestras dentales fueron enviadas al laboratorio de antiguo ADN (aADN) en Enero del 2009. En estos momentos, una selección de muestras está siendo analizada. Estas muestras, una vez que son consideradas viables por medio de una inspección visual (e.g. no perforadas o quebradizas), son puestas a prueba para detectar la presencia de proteína, lo cual es un fuerte indicador de la presencia de ADN. Los resultados están en espera. Si las características de la proteína se ven favorables, i.e. similar al contenido moderno, las muestras serán analizadas para aADN.

Las muestras fueron escogidas por dos razones. Primero, la prueba determinará si hay presencia de aADN en esta serie de entierros, ya que la preservación de aADN depende de muchos factores como temperatura, humedad, pH del suelo, contenido microbiano y otros. Si hay aADN presente, esto abrirá muchas posibilidades para más pruebas. Metas futuras incluyen una aclaración de la demografía de la población, una evaluación de linajes, patrones matrimoniales, y otros patrones sociales en el valle del Río Verde inferior. Una futura meta adicional es determinar si hubo interacción a larga distancia entre las áreas de las tierras altas, tierras bajas, y la costa. Segundo, dos de las muestras provienen de individuos de gran interés: un individuo de alto estatus masculino (B14-I16) un individuo de género femenino de edad más avanzada (B14-I15) quienes parecen haber sido enterrados juntos y dejados sin perturbar a través de entierros posteriores en la comunidad.

El individuo masculino murió aproximadamente a los 16 años de edad (Mayes & Barber 2008). Este fue enterrado con un pectoral de mineral de hierro y con una flauta de hueso, ambos de los cuales poseían potentes asociaciones con rituales y alto estatus (Barber, 2005, 2007). La flauta es única en Mesoamérica para este período, y el pectoral es uno de solo un puñado de objetos estucados en la región. B14-I16 probablemente tuvo mayor acceso a recursos, ya que su salud era mejor que la de otros en esta población. De manera adicional, éste no estaba involucrado en labores físicas características de otros encontrados en este cementerio. B14-I15 tenía aproximadamente 40 años de edad al tiempo de su muerte. Indicadores óseos así como la enfermedad degenerativa de las articulaciones indicando estrés laboral son pronunciados en este individuo (Melmed 2006, Mayes y Barber 2008).

Lo que la biología y arqueología ósea no nos puede decir, en este instante, es la relación entre estos dos individuos. El análisis de ADN antiguo puede responder esta pregunta. Si un número de mutaciones de raras mitocondrias (mtADN) es compartido entre los dos individuos, éstos están probablemente estrechamente emparentados. Estas raras mutaciones serían heredadas del lado maternal, ya que el ADN de las mitocondrias es heredado exclusivamente del óvulo. Siendo así, entonces el individuo adulto de género femenino es o su madre o su tía.

Si la prueba de proteína en los dientes es exitosa, el análisis continuará con las muestras restantes del cementerio de Yugüe, Río Viejo, y Cerro de la Cruz. Dos patrones emergerán: uno de organización local usando emparentados maternales a grupos de individuos, y el otro de interacciones a larga distancia sobre el valle inferior del Río Verde.

Un estudio acerca de individuos enterrados en un basurero de concha Jomon es paralelo a los futuros esfuerzos de estos estudios genéticos. Acerca de la organización local, Shinoda y Kanai (1999) encontraron que de 29 individuos, el 75% de estos individuos caen dentro de sólo dos tipos haplotipos de mitocondrias (una combinación de raras mutaciones asociadas con linaje). Esto sugiere que esta población consistió de solo dos familias maternalmente definidas. Acerca de las interacciones a larga distancia, varios individuos en el cementerio poseían objetos materiales cuyos orígenes se encontraban fuera de la región del Río Verde inferior. ¿Eran estos individuos mismos de áreas en las afueras del Río Verde inferior? ¿Estaban ellos emparentados con individuos del cementerio de Yugüe? Con análisis químicos intentaremos responder estas preguntas.

## Metodología

En preparación para el análisis, las muestras fueron descontaminadas con una combinación de luz UV y una solución de blanqueador moderadamente fuerte. Esto minimiza la contaminación de ADN moderno proveniente de los encargados de las muestras. El muestreo de los dientes fue ejecutado perforando un hoyo en la cámara de dentina/pulpa, exponiendo de esta forma la proteína y el ADN a la manipulación química. Con las muestras arqueológicas, esto puede ser un proceso destructivo resultando en la fragmentación del diente.

Siguiendo el análisis de proteína, (una caracterización de cantidades y tipos vía cromatografía líquida de alta presión - HPLC), el ADN será extraído de acuerdo con uno de los dos posibles métodos. Esta opción depende de ambos el grado de daño en la cadena de ADNND, y la naturaleza de los inhibidores exógenos PCR que son frecuentemente co-extraídos con el material antiguo. El método será determinado mientras el proceso progresa. En el protocolo de fenol-cloroformo, las muestras son digeridas en una mezcla que libera el ADN de residuos orgánicos con los que está ligado (e.g. componentes celulares, proteínas, etc.), y por medio de una serie de extracciones y procesos de centrifugación el aADN es separado. En el protocolo de sílice-guanidino tiocianato (GnSCN), una digestión similar a la mencionada anteriormente es seguida por una incubación en GnSCN con microesferas de sílice/vidrio de leche. El aADN se liga a las microesferas, y el material restante (residuos orgánicos) es descartado. El aADN es entonces separado de las microesferas y concentrado.

El paso siguiente es la amplificación y secuencia de las diminutas cantidades del aADN presente. El aADN extraído y purificado es amplificado por medio de un proceso de reacción en cadena de polimerasa (PCR). En un medio de nucleótidos en libre flotación, el aADN es ligeramente calentado provocando la separación de las cadenas. Un imprimador complementario

(un pequeño segmento de ADN complementario) o un juego de imprimadores se ligan al aADN fragmentario y la mezcla es ligeramente enfriada. Una enzima de polimerasa es entonces agrada y los nucleótidos en libre flotación son reunidos en una nueva cadena complementaria. Esto representa un ciclo, y los ciclos son repetidos hasta que una cantidad significativa de aADN amplificado esté presente.

La serie de reacciones le permite al investigador determinar la secuencia del ADN que es construida durante la reacción de PCP. Los fragmentos de aADN separados de las amplificaciones genómicas son los patrones de las secuencias. Nucleótidos marcados con una tinte, específica a su base complementaria, son añadidos a la reacción. Estos nucleótidos serán incorporados en las cadenas siendo formadas, pero éstos prohíben la construcción de cadenas partiendo de este punto. La incorporación de los nucleótidos marcados con tinta es hecha al azar, así que cada base en el patrón de la cadena de ADN es representada y determinada por el color de la tinta, mientras que las secuencias que son una base de pares diferentes en su largo son separadas por su tamaño. Cadenas de ADN de diferentes tamaños son resueltas por medio de electroforesis, a través de la cual una corriente es aplicada cruzando una matriz de gelatina que causa que las cadenas emigren hacia uno de los polos. Las cadenas más grandes se mueven a una velocidad inferior que las cadenas más pequeñas. El producto final es una población de fragmentos de aADN que ceden el orden e identidad de las bases del patrón de la cadena.

Con la secuencia de ADN de mitocondria a mano, comparaciones de apareamiento de base a apareamiento de base pueden ser hechas entre los individuos para determinar la similitud en sus secuencias de ADN. Esto permite la determinación de emparentado matrilineal.

## Resultados Iniciales

Los resultados de las dos primeras muestras hasta ahora han quedado inconclusos. La extracción salió bien, sin contaminación, pero ninguna evidencia clara de aADN fue descubierta. El próximo paso fue concentrar el extracto de aADN para ver si había una baja cantidad de aADN y, una vez más, no se encontró nada. Mientras que un tercer procedimiento está en camino en estos momentos, es claro que si hay algún aADN en la muestra, este es muy bajo. Muestras adicionales de Río Viejo y Cerro de la Cruz están en estos momentos siendo preparadas para ser puestas a prueba, los resultados aún quedan pendientes. Aún si las muestras de Yugué no ceden ningún aADN, esto no predice la viabilidad de las muestras restantes de las otras dos colecciones arqueológicas, ya que las condiciones de los sitios pueden variar.

## Bibliography

- Barber, SB. (2007) A divine wind: the arts of death and music in Ancient Oaxaca. Ponencia al simposio Mixtec Gateway. Las Vegas, NV.
- Barber, SB. (2005) *Heterogeneity, Identity, and Complexity: Negotiating Status and Authority in Terminal Formative Coastal Oaxaca*. Tesis doctoral, University of Colorado, Boulder.
- Joyce, AA (1991b) *Formative Period Occupation in the Inferior Río Verde Valley, Oaxaca, Mexico: Interregional Interaction and Social Change*. Tesis doctoral, Rutgers University, University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.
- Joyce, AA (2005) La arqueología del bajo Río Verde. *Acervos* 7:16-36.

- Joyce, AA. (2006) The inhabitation of Rio Viejo's Acropolis. En *Space and Spatial Analysis in Archaeology*, Robertson E, Siebert J, Fernandez D, Zender M (eds). University of New Mexico Press and University of Calgary Press: Calgary, Alberta, Canada
- Joyce, AA, Winter, M, y Mueller, RG (1998) *Arqueología de la costa de Oaxaca: Asentamientos del periodo Formativo en el valle del Río Verde inferior*. Oaxaca, Mexico: Centro INAH Oaxaca.
- Kaestle, FA, y Horsburgh, KA. (2002) Ancient DNA in Anthropology: Methods, Applications, and Ethics. *Yearbook of Physical Anthropology* 45:92-130
- Mayes, AT, y Barber, SB. 2008. Osteobiography of a High-Status Burial from the Inferior Rio Verde Valley of Oaxaca, Mexico. *International Journal of Osteoarcheology* 18(6):573-588
- Mayes, A, Melmed, A y Aguilar, J. (2005) Report for INAH: The Skeletal Analysis of Yugue, Oaxaca, Mexico.
- Melmed, A. (2006) *Health, diet, and behavior in prehistoric Oaxaca*. Tesis de maestría, San Diego State University.
- O'Rourke, DH, Carlyle, SW, y Parr, RL. (1996) Ancient DNA: a review of methods, progress, and perspectives. *American Journal of Human Biology* 8:557-571
- Richards, MB, y Sykes, BC. (1995) Authenticating DNA Extracted From Ancient Skeletal Remains. *Journal of Archaeological Science* 22:291-299
- Sampietro, ML et. al. (2006) Tracking down Human Contamination in Ancient Human Teeth. *Molecular Biology and Evolution* 23(9):1801-1807
- Steckel, RH. (2003) What Can be Learned from Skeletons That Might Interest Economists, Historians, and Other Social Scientists? *The American Economic Review* 93:213-220.